

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut dopravy



Zařízení k rozvolnění materiálu po dopravní cestě  
Equipment for Material Splitting During Conveying

Student:

Bc. Jan Diviš

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Jan Nečas, Ph.D.

Ostrava 2017

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Diviš**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství  
Specializace: 35 Dopravní stroje a manipulace s materiálem  
Téma: **Zařízení k rozvolnění materiálu po dopravní cestě**  
**Equipment for Material Splitting During Conveying**  
Jazyk vypracování: čeština

### Zásady pro vypracování:

Navrhněte zařízení pro rozvolnění materiálu v zimním období při dopravě paliva z venkovní skládky do mlýnice paliva v energetickém průmyslu. Návrh proveďte s ohledem na specifické vlastnosti zmrazků paliva a s maximálním využitím kinetické energie na dopadových místech.

- 1) Rešerše z oblasti vhodných typů rozdružovače materiálu.
- 2) Výběr možných alternativ řešení technologie pro rozvolňování materiálu po dopravní cestě se zaměřením se na dopadová místa.
- 3) Analýza pohybu materiálu na předávacích místech.
- 4) Technologický návrh zařízení s důrazem na nízkou spotřebu energie a mechanicko-fyzikální vlastnosti zmrzlého paliva.
- 5) Potřebné pevnostní výpočty.
- 6) Konstrukční návrh daného řešení.

### Seznam doporučené odborné literatury:

Polák, J. Bailotti, K. Pavliška, J. Hrabovský, L.: Dopravní a manipulační zařízení II, Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003, ISBN 80-248-0493-X  
Cvekl, Z. Dražan, F.: Teoretické základy transportních zařízení. Praha: SNTL Praha, 1976  
Dražan, F., Kupka, L.: Transportní zařízení. Praha: SNTL/SVTL Praha 1966.  
Polák, J., Pavliška J., Slíva, A.: Dopravní a manipulační zařízení I. Skriptum, Ostrava: VŠB-TU Ostrava 2001. ISBN 80-248-0043-8.  
Pešat, Z.: Manipulace s materiálem v hutích I. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 1992, ISBN 80-7078-107-6  
Prospekty, firemní materiály

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Nečas, Ph.D.**

Datum zadání: 09.12.2016  
Datum odevzdání: 15.05.2017

doc. Ing. Aleš Slíva, Ph.D.  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

**Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

podpis studenta

### **Prohlášení o využití výsledků práce**

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на вѣдомі, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на вѣдомі, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě: .....

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Adresa trvalého pobytu autora práce:

## ANOTACE DIPLOMOVÁ PRÁCE

Diviš Jan. *Zařízení k rozvolňování materiálu po dopravní cestě*. Diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Institut dopravy, 2017, 69 s. Vedoucí práce: doc. Ing. Nečas, J. Ph.D.

Diplomová práce se zabývá návrhem rozvolňovacího zařízení materiálu po dopravní cestě. Rozvolňovaným materiálem je černé uhlí. Přívod materiálu do zařízení probíhá pomocí pásového dopravníku přepadem přes poháněný buben. Materiál je odebírán dalším pásovým dopravníkem. Mezi oba pásové dopravníky je umístěn rozdružovač a násypka pro správné plnění rozdružovače. Jednoválcový rozdružovač je konstrukčně navržen pro dopravované množství  $Q_v = 84 \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$ . Maximální výstupní zrno  $u = 50 \text{ [mm]}$ . Průměr válce rozdružovače  $D_v = 650 \text{ [mm]}$ . Pracovní otáčky rozdružovače  $n_v = 69 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ .

Práce obsahuje řešerši různých typů rozdružovačů. Podávaný materiál byl podroben měření vybraných mechanicko-fyzikálních vlastností sypkých hmot. Získané hodnoty jsou použity pro technologický výpočet a návrh rozdružovače. Dále jsou provedeny pevnostní výpočty rozdružovače. V přílohách je uveden výkres sestavy rozdružovače.

## ANNOTATION MASTER THESIS

Diviš Jan. *Equipment for Material Splitting During Conveying*. Master thesis. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Institut of Transport, 2017, 69 p. Thesis supervisor: doc. Ing. Nečas, J. Ph.D.

The master thesis deals with a design of a equipment for material splitting during conveying. Splitting material is a black coal. Belt conveyor fills splitting equipment by rolling material over driven pulley. Material feeds another belt conveyor. Splitting equipment and feed chute for good feeding are placed in between both belt conveyors. Single roll splitting equipment is structurally designed for transported quantity of  $Q_v = 84 \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$ . Maximum size of output particle  $u = 50 \text{ [mm]}$ . Splitting equipment roll diameter  $D_v = 650 \text{ [mm]}$ . Operational rotation speed of roll of the splitting equipment  $n_v = 69 \text{ [min}^{-1}\text{]}$ .

The thesis includes a research of different crusher types. Transported material was measured for obtaining selected mechanical and physical properties of bulk solid. The obtained values were used for the technological calculation and the design of the splitting

equipment. Structural calculations are made further. The assembly drawing is documented in the enclosure of the master thesis.

# Obsah

Seznam použitých jednotek a značek .....	9
Úvod.....	14
1 Desintegrace materiálu .....	15
1.1 Rozpojování .....	15
1.2 Rozpojitelnost .....	15
1.3 Způsoby mechanického rozpojování.....	16
2 Drtící a mlecí stroje .....	17
2.1 Použití drtících strojů a jejich rozdělení.....	17
2.2 Čelist'ové drtiče .....	18
2.3 Kuželový drtič .....	19
2.4 Symonsův drtič (krouživý).....	20
2.5 Válcový drtič .....	22
2.6 Kladivový a nárazový drtič .....	23
2.7 Perlový mlýn .....	24
2.8 Kulový mlýn.....	25
2.9 Další typy drtičů a mlýnů .....	26
3 Výběr varianty řešení .....	27
3.1 Varianta č. 1 – čelist'ový drtič.....	27
3.2 Varianta č. 2 – kuželový drtič .....	27
3.3 Varianta č. 3 – válcový drtič .....	28
3.4 Volba rozdružovače .....	28
4 Mechanicko-fyzikální vlastnosti černého uhlí.....	29
4.1 Měření jednoosého tlakového napětí zmrzlého černého uhlí.....	29
4.2 Měření vnitřního tření .....	30
4.3 Měření vnějšího tření .....	32
4.4 Měření sypné hmotnosti .....	35
4.5 Tabulka naměřených hodnot .....	36
5 Pohyb materiálu na předávacím místě.....	37
5.1 Určení paraboly přepadu .....	37
6 Technologické výpočty .....	39
6.1 Teorie výpočtu .....	39
6.2 Maximální propustná rychlost rozdružovače .....	40
6.3 Výpočet příkonu.....	41

6.4	Dopravované množství rozdrůžovače .....	43
6.5	Kontrola vstupní a výstupní rychlosti rozdrůžovače.....	44
6.6	Volba elektromotoru .....	47
6.7	Kontrola motoru na rozběh .....	47
7	Pevnostní výpočty .....	50
7.1	Hřídel rozdrůžovače .....	50
7.2	Pero na hřídeli rozdrůžovače.....	51
7.3	Spojka mezi převodovkou a rozdrůžovačem .....	53
7.4	Výpočet svarového spoje zubů a skruže rozdrůžovače.....	56
7.5	Výpočet odpružení čelisti rozdrůžovače .....	59
7.6	Kontrola otočného uložení čelisti.....	61
7.7	Kontrola ložisek pod válcem drtiče.....	62
8	Konstrukční řešení.....	64
8.1	Technologický popis .....	64
	Závěr .....	66
	Použitá literatura a zdroje .....	67
	Požitá literatura .....	67
	Internetové odkazy .....	67
	Výkresová dokumentace .....	68
	Seznam příloh.....	69



## Seznam použitých jednotek a značek

A	Plocha smykového kroužku	[m <sup>2</sup> ]
C	Základní dynamická únosnost ložiska	[N]
D <sub>S</sub>	Roztečná kružnice šroubů na spojce	[m]
D <sub>SSK</sub>	Skutečná roztečná kružnice šroubů na spojce	[m]
D <sub>V</sub>	Vnější průměr válce rozdrůžovače	[m]
F <sub>2</sub>	Síla zatěžující pero	[N]
F <sub>3</sub>	Síla působící na zub	[N]
F <sub>8</sub>	Pracovní síla pružiny	[N]
F	Síla drcení jednoho zubu rozdrůžovače	[N]
F <sub>a</sub>	Axiální síla na ložisko	[N]
F <sub>C</sub>	Celková síla drcení rozdrůžovače	[N]
F <sub>Č</sub>	Tíhová složka síly čelisti	[N]
F <sub>i</sub>	Síla na jeden šroub	[N]
F <sub>iSK</sub>	Skutečná síla na jeden šroub	[N]
F <sub>J</sub>	Vertikální Janssenova síla	[N]
F <sub>O</sub>	Obvodová síla válce rozdrůžovače	[N]
F <sub>PR</sub>	Síla na pružině	[N]
F <sub>R</sub>	Síla na roztečné kružnici šroubů	[N]
F <sub>r</sub>	Radiální síla na ložisko	[N]
F <sub>S</sub>	Střížná síla pera	[N]
F <sub>T</sub>	Třecí síla zrna o válec a čelist rozdrůžovače	[N]
F <sub>n</sub>	Normálová síla při Jenikeho zkoušce vnějšího tření	[N]
F <sub>w</sub>	Radiální síla při Jenikeho zkoušce vnějšího tření	[N]
I <sub>J</sub>	Moment setrvačnosti pojistné spojky	[kg.m <sup>2</sup> ]
I <sub>M</sub>	Moment setrvačnosti motoru a převodovky	[kg.m <sup>2</sup> ]
I <sub>V</sub>	Moment setrvačnosti válce rozdrůžovače	[kg.m <sup>2</sup> ]
J <sub>y</sub>	Kvadratický moment svaru	[m <sup>4</sup> ]
K	Součinitel přetížení návrhu spojky	[-]
L <sub>10h</sub>	Základní trvanlivost ložiska	[h]
L	Délka zubu	[m]
L <sub>V</sub>	Délka válce rozdrůžovače	[m]
M <sub>a</sub>	Nominální moment	[N.m]
M <sub>D</sub>	Dynamický moment	[N.m]

$M_{DR}$	Moment potřebný k drcení materiálu	[N.m]
$M_L$	Moment tření v ložiscích	[N.m]
$M_{PR}$	Moment působící na pružinu	[N.m]
$M_T$	Moment trhání materiálu	[N.m]
$M_V$	Výpočtový moment pro návrh spojky	[N.m]
$P$	Ekvivalentní dynamické zatížení	[N]
$P_D$	Výkon rozdrůžovače	[W]
$Q_V$	Dopravní výkon rozdrůžovače černého uhlí	[t.h <sup>-1</sup> ]
$R_e$	Mez kluzu hřídele	[Pa]
$R_m$	Mez pevnosti hřídele	[Pa]
$R_M$	Pevnost přídavného materiálu EN ISO 14343-A: W 18 8 Mn	[Pa]
$R_{MAX}$	Nejmenší hydraulický poloměr rozdrůžovače	[m]
$R_{MH}$	Pevnost materiálu HARDOX	[Pa]
$R_{p0,2}$	Mez kluzu přídavného materiálu EN ISO 14343-A: W 18 8 Mn	[Pa]
$R_{p0,2H}$	Mez kluzu materiálu HARDOX	[Pa]
$R_{VP}$	Hydraulický poloměr vpustného otvoru	[m]
$R_{VY}$	Hydraulický poloměr výpustného otvoru	[m]
$S_k$	Plocha na otlak šroubu	[m <sup>2</sup> ]
$S_{MAX}$	Minimální propustná plocha rozdrůžovače	[m <sup>2</sup> ]
$S_N$	Plocha zubu rozdrůžovače	[m <sup>2</sup> ]
$S_{SK}$	Skutečný průřez šroubu	[m <sup>2</sup> ]
$S_{VP}$	Plocha vpustného otvoru	[m <sup>2</sup> ]
$S_{VY}$	Plocha výpustného otvoru	[m <sup>2</sup> ]
$U$	Vstupní zrno	[m]
$U_{stř}$	Střední vstupní zrno	[m]
$X$	Součinitel radiálního zatížení	[-]
$Y$	Součinitel axiálního zatížení	[-]
$a$	Výška svaru	[m]
$a_{VP}$	Strana obdélníku vpustného otvoru rozdrůžovače	[m]
$a_{VY}$	Strana obdélníku výpustného otvoru rozdrůžovače	[m]
$b_p$	Šířka pera	[m]
$b_{VP}$	Strana obdélníku vpustného otvoru rozdrůžovače	[m]
$b_{VY}$	Strana obdélníku výpustného otvoru rozdrůžovače	[m]
$c$	Opravný součinitel momentu trhání materiálu	[-]
$d_{\xi}$	Průměrná velikost částic černého uhlí	[m]

$d_h$	Válcový konec hřídele	[m]
$d_k$	Zvolený průměr šroubu	[m]
$d'$	Navrhovaný nejmenší průměr šroubu na střih	[m]
$f_c$	Součinitel čepového tření v ložiscích	[-]
$f_i$	Součinitel vnitřního tření materiálu	[-]
$f_w$	Součinitel vnějšího tření černé uhlí – HARDOX	[-]
$g$	Gravitační zrychlení	[m.s <sup>-2</sup> ]
$h_z$	Výška zubu	[m]
$i$	Stupeň rozpojení	[-]
$i_{ges}$	Převodový poměr převodovky	[-]
$i_k$	Počet šroubů	[-]
$k$	Součinitel pasivního tlaku, koeficient sypnosti	[-]
$k_s$	Součinitel bezpečnosti	[-]
$k_d$	Součinitel dynamiky materiálu	[-]
$k_o$	Součinitel závěsu	[-]
$l$	Délka koutového svaru	[m]
$l_1$	Délka šroubu pod přírubou	[m]
$l_2$	Délka šroubu pod přírubou	[m]
$l'$	Výpočtová délka koutového svaru	[m]
$l_C$	Rameno působení drtící síly	[m]
$l_{\dot{C}}$	Rameno působení tíhové složky síly na čelisti	[m]
$l_J$	Rameno působení Janssenovi síly	[m]
$l_{PR}$	Rameno působení síly pružiny	[m]
$l_p$	délka pera	[m]
$l_{p'}$	výpočtová délka pera	[m]
$m_p$	Hmotnost držáku závaží a krycího víčka	[kg]
$m_v$	Hmotnost válce rozdrůžovače	[kg]
$m_z$	Hmotnost jednoho závaží	[kg]
$n$	Počet použitých závaží	[ks]
$n_N$	Počet zubů rozdrůžovače	[ks]
$n_v$	Otáčky válce rozdrůžovače	[s <sup>-1</sup> ]
$n_{VMAX}$	Otáčky válce maximální propustnosti rozdrůžovače	[s <sup>-1</sup> ]
$o_{MAX}$	Obvod minimálního propustného otvoru rozdrůžovače	[m]
$o_{VP}$	Obvod vpustného otvoru	[m]
$o_{VY}$	Obvod výpustného otvoru	[m]

$p$	Mocnitel druhu styku valivých tělísek	[-]
$p_1$	Napětí na otlak na šroub	[Pa]
$p_{DP}$	Dovolený tlak ocel na ocel	[Pa]
$p_D$	Dovolené namáhání na otlak	[Pa]
$r_1$	Poloměr smykového kroužku	[m]
$s$	Tloušťka zubu	[m]
$t_1$	Výška pera v náboji	[m]
$t$	Čas	[s]
$t'$	Výpočetní tloušťka svaru	[m]
$t_R$	Doba rozběhu	[s]
$u$	Výstupní zrno	[m]
$u_{stř}$	Střední výstupní zrno	[m]
$v$	Rychlost pásového dopravníku	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_O$	Obvodová rychlost válce rozdrůžovače	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_{MAX}$	Maximální propustná rychlost rozdrůžovače	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_{VP}$	Rychlost průtoku materiálu z vpustného otvoru	[m.s <sup>-1</sup> ]
$v_{VY}$	Rychlost průtoku materiálu z výpustného otvoru	[m.s <sup>-1</sup> ]
$x$	Souřadnice bodu křivky přepadu přes buben v ose x	[m]
$y$	Souřadnice bodu křivky přepadu přes buben v ose y	[m]
$\alpha_\beta$	Úhel odpoutání materiálu přepadávajícího přes koncový buben	[°]
$\beta$	Úhel tečny k vrhové parabole	[°]
$\eta_D$	Součinitel skutečného dopravovaného množství	[-]
$\lambda$	Součinitel výtoku	[-]
$\mu$	Součinitel nakypření	[-]
$\pi$	Ludolfovo číslo	[-]
$\rho_s$	Sypná hmotnost černého uhlí	[kg.m <sup>-3</sup> ]
$\sigma_n$	Normálové napětí při Jenikeho zkoušce vnějšího tření	[Pa]
$\sigma_{zu}$	Tlakové napětí lomu zmrzlého uhlí	[Pa]
$\tau_{DS}$	Dovolené smykové napětí	[Pa]
$\tau_{SP}$	Smykové napětí pera	[Pa]
$\tau_{DSP}$	Dovolené smykové napětí pera	[Pa]
$\tau_o$	Počáteční smykové napětí černého uhlí	[Pa]
$\tau_w$	Smykové napětí při Jenikeho zkoušce vnějšího tření	[Pa]
$\tau_{\perp D}$	Dovolené smykové napětí kolmého ke svaru	[Pa]
$\tau_{\perp}$	Smykové napětí kolmé ke svaru	[Pa]

$\varphi_i$	Úhel vnitřního tření černého uhlí	[°]
$\varphi_w$	Úhel vnějšího tření černého uhlí - HARDOX	[°]
$\omega$	Úhlová rychlost válce rozdružovače	[rad.s <sup>-1</sup> ]

## Úvod

Černé uhlí v zimních obdobích ve zdejších klimatických podmínkách zamrzá a tvoří slepence, jež vytváří problém při transportu a dávkování černého uhlí. Největší problémy se vyskytují v elektrárnách a teplárnách, s čímž je spojena i železniční doprava.

Černé uhlí je vykládáno na velké volně ložené hromady, kde je vystaveno klimatickým změnám. Nabírá vláhu z vnějšího okolí, tvoří nálepky a shluky. Ty při teplotách pod 0 °C mrznou. Místo dané dopravované zrnitosti pak máme v dopravních a dávkovacích strojích mnohem větší kusy, které tvoří problémy po dopravní trase. Řešení těchto problémů, až nastanou, může být finančně velmi náročné, a proto je výhodné těmto problémům předcházet a dělat opatření, která jim zamezí.

Mezi tradiční řešení problému mrznoucího uhlí patří teplotní, mechanické a chemické řešení. Rozmrazování se provádí na kolejových vozidlech, přístřešcích a silech. Mechanické metody zahrnují desintegraci zmrzlých slepenců pomocí vibrací, drcení a dokonce bylo zkoušeno i rozdružování pomocí dynamitu. Za chemické metody považujeme použití chemikálií, které zabraňují mrznutí vody v uhlí.

Téma této diplomové práce je rozdružovač materiálu po dopravní cestě. Materiál tak je již ve stavu zmraženém a chemická metoda tedy nepřichází v úvahu. Tepelné řešení taky není možné, protože dopravní trasa je tvořena pásovým dopravníkem a ohřívání by mohlo poškodit pás. Nejjednodušší řešení je tedy mechanické rozvolnění po dopravní trase.

Cílem této práce je návrh vhodného typu rozdružovače pro rozvolnění zmrzlého černého uhlí. Pro výběr správného typu rozdružovače je potřeba zohlednit velikost vstupních i výstupních zrn, vlastnosti rozvolňovaného materiálu, prostorové uspořádání, aj.

Nejvhodnějším místem pro mechanické rozvolňování je přesyp, kde materiál padá z jednoho pásového dopravníku na další pásový dopravník. V tomto přepadávacím místě je materiál vhodně upraven na požadovanou zrnitost, která je na dalších úsecích dopravy vyžadována. Rozvolňovaný materiál musí být podroben měření mechanicko-fyzikálních vlastností, přičemž naměřené hodnoty jsou použity pro technologický výpočet a návrh rozdružovače.

Na začátku diplomové práce je vypracovaná rešerše, ve které jsou uvedeny různé typy desintegrátorů. Dále je v této části uveden přehled mechanicko-fyzikálních vlastností zmrzlého černého uhlí.

Druhou částí diplomové práce je technologický a konstrukční návrh vybraného typu deintegrátoru – válcového rozdružovače.

Konec diplomové práce obsahuje přílohy a výkresová dokumentace.

# 1 Desintegrace materiálu

## 1.1 Rozpojování

Rozpojování materiálu, neboli také drcení a zdobňování, je technologický proces. Cílem procesu je úprava surovin zmenšením částic, tedy desintegrací materiálu (rud, kamenivo, atd.). Materiál se zmenšuje na velikost požadovanou z důvodu dopravních a manipulačních, úpravářenských (rozdělení do určitých složek dle velikosti zrn) a dle požadavků odběratele (zrnitost). Při zmenšení velikosti částic dochází současně k nárůstu měrného povrchu zrn.

Zdobňování je docíleno působením vnějších sil. K rozpadu zrn je zapotřebí překonat vnitřní mezimolekulární síly soudržnosti částice.

Mechanické rozpojování se dá rozdělit do dvou základních pracovních pochodů. Jedná se o drcení a mletí, přičemž hranice mezi drcením a mletím je 1-3 mm. Není přesně určena, i když například ČSN 44 7010 ji uvádí jako 1,25 mm.

## 1.2 Rozpojitelnost

Rozpojitelnost, také drtílenost nebo melitelnost, je schopnost sypkých materiálů. Vyznačuje se tím, že dochází k oddělení jednotlivých zrníček na samostatné částice a rozpojuje partikulární materiál rozdělením jednotlivých částíček na částčky menší velikosti.

Může být vyjádřena koeficientem drtílenosti, který určujeme poměrem času potřebného k rozdrobení vzhledem k etalonu základního materiálu. Základní materiál, etalon, je diabas (moravská droba) a drcení probíhá za stejných podmínek (velikost vstupního a výstupního zrna, stejné množství a stejný typ drtiče).

Další možností je určení stupně rozpojení. Stupeň rozpojení je poměr vstupního zrna  $U$  k výstupnímu zrn  $u$ . Jedná se o velikosti středních zrn.

$$i = \frac{U}{u} = \frac{U_{stř}}{u_{stř}} \quad [-] \quad (1.1)$$

Rozpojitelnost materiálu je ovlivněna vlastnostmi materiálu, ale dá se ovlivnit i konstrukcí drtiče, či mlýnu. Dále materiál po hromadě drží síly kohezní, smykové, Van der Waalsovy, tekuté můstky, aj. Mezi nejdůležitější vlastnosti materiálu patří pevnost, tvrdost,

voděodolnost, abrazivnost, štěpnost, tepelná vodivost, houževnatost, elektrické vlastnosti, stlačitelnost, složení (prvky S, C, N), apod.

### 1.3 Způsoby mechanického rozpojování

Pro různé druhy materiálů se hodí různé způsoby drcení (mletí) materiálu. Jeho rozpad lze dosáhnout:

- Tlakem
- Ohybem
- Štípáním
- Stříhem
- Rázem
- Nárazem

Dle stupně zrnitosti rozlišujeme mletí na hrubé, střední, jemné mletí a velmi jemné mletí.

Druh	i	Velikost rozpojených částic [mm]
Primární (hrubé)	3-6	Zrna > 125
Sekundární (střední)	10	Zrna > 25
Terciální (jemné)	15	Zrna < 25
Mletí	10-50	Zrna < 1,25
Jemné mletí	100	Zrna < 0,08
Velmi jemné mletí	> 100	Zrna 0,08

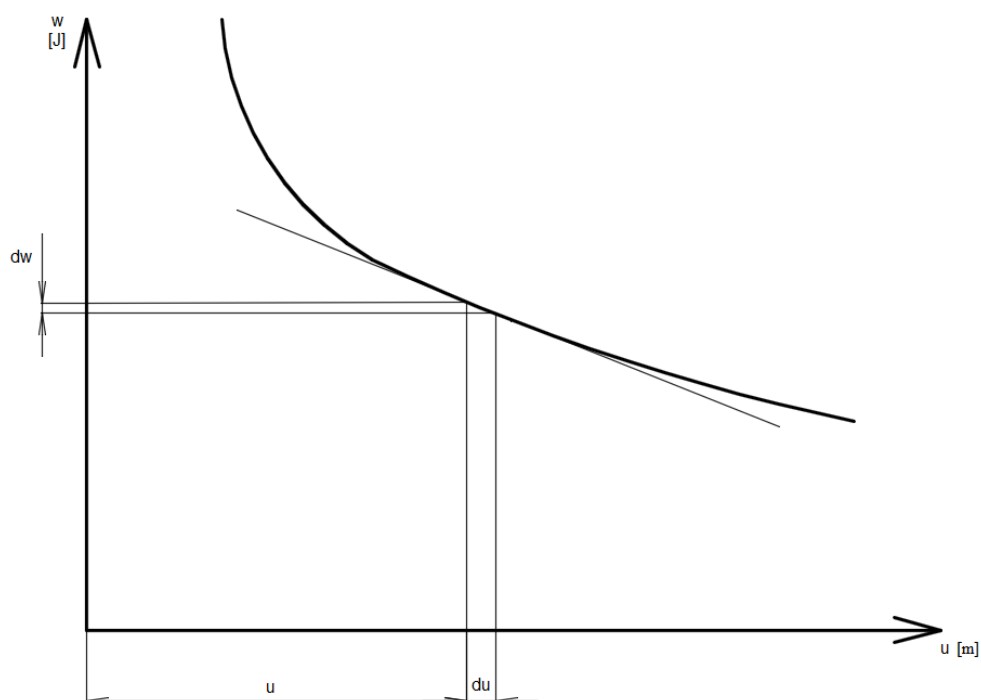
Tab. 1.1 Stupně zrnitosti, stupeň drcení a velikost rozpojených částic [7]



## 2 Drtící a mlecí stroje

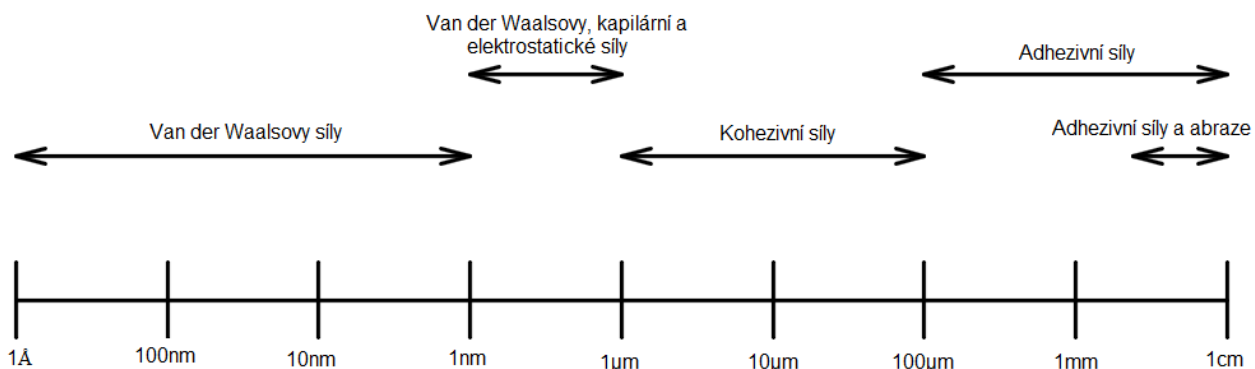
### 2.1 Použití drtících strojů a jejich rozdělení

Na obr. 2.1 je vidět energetickou závislost drcení materiálu. Z obrázku grafu vyplývá, že nárůst měrné drtící práce  $w$  [J] enormně roste v závislosti na požadované velikosti drceného materiálu  $u$  [m]. K docílení jemných a superjemných materiálů o velikosti mikrometrů je energeticky velice náročný proces.



Obr. 2.1 Měrná práce  $w$  v závislosti na velikosti částice  $u$

Tento rozdíl v energetické náročnosti je důsledkem sil, které na rozdílné úrovni interakci částic mezi sebou působí. Na obrázku 3.2 je vidět rozdělení a pole působení sil dle velikosti částic. V partikulárních hmotách a prášcích s velikostí částic větších než  $100\ \mu\text{m}$  jsou důležité adhezivní síly. Materiály s velikostí částic větší než  $2\ \text{mm} - 3\ \text{mm}$  způsobují působením adhezivních sil abrazi. Pro prášky s velikostí částic v rozmezí  $1\ \mu\text{m} - 100\ \mu\text{m}$  jsou důležité síly kohezivní. Dále pro jemné a superjemné částice o velikosti  $100\ \text{nm} - 1\ \mu\text{m}$  jsou dominantní síly elektrostatické, kapilární a Van der Waalsovy. Van der Waalsovy síly jsou dominantní v nanopartikulárních materiálech, které mají rozmezí od  $1\ \text{\AA}$  do  $100\ \text{nm}$ . Dle vzdálenosti obou částic od sebe zde působí Van der Waalsovy síly odpuzivé nebo přitažlivé.



Obr. 2.2 Mezičásticové síly

Drcení a mletí se dá rozdělit na primární, sekundární, terciální a se zaručenou separací mletých částic. Pro primární drcení se používají čelistové, kuželové, kladivové a rázové drtiče. Sekundární a terciální drcení bývá realizováno kuželovými a válcovými drtiči. Mletí a velmi jemné mletí vyžaduje rozpojování pomocí zařízení s mlecími tělisky. Používají se kulové a perlové mlýny. Při velikosti částic okolo  $5\ \mu\text{m}$  -  $10\ \mu\text{m}$  se materiál vlivem Van der Waalsových sil začíná znovu spojovat. Toto spojování je nežádoucí a k zabránění je nutné použít separační proces. Používá se například unášecí médium. Mletí pod  $1\ \mu\text{m}$  vyžaduje nejmodernější technologie.

## 2.2 Čelistové drtiče

Čelistový drtič se používá pro drcení suchého nebo vlhkého materiálu pod tlakem (až do  $320\ \text{Mpa}$ ). Používá se jako primární nebo sekundární drcení v hornictví, stavebnictví nebo v chemickém průmyslu.

Na obrázku 2.3 je vidět, že drcení se realizuje mezi čelistmi, kdy jedna je pohyblivá a druhá na excentrickém hřídeli v kloubu této čelisti. Materiál prochází mezi čelistmi, kdy protilehlé čelisti tvoří V nebo půl V. Vlivem tlaku dochází k drcení materiálu. Materiál se hýbe periodicky v závislosti na otáčkách excentrického hřídele.

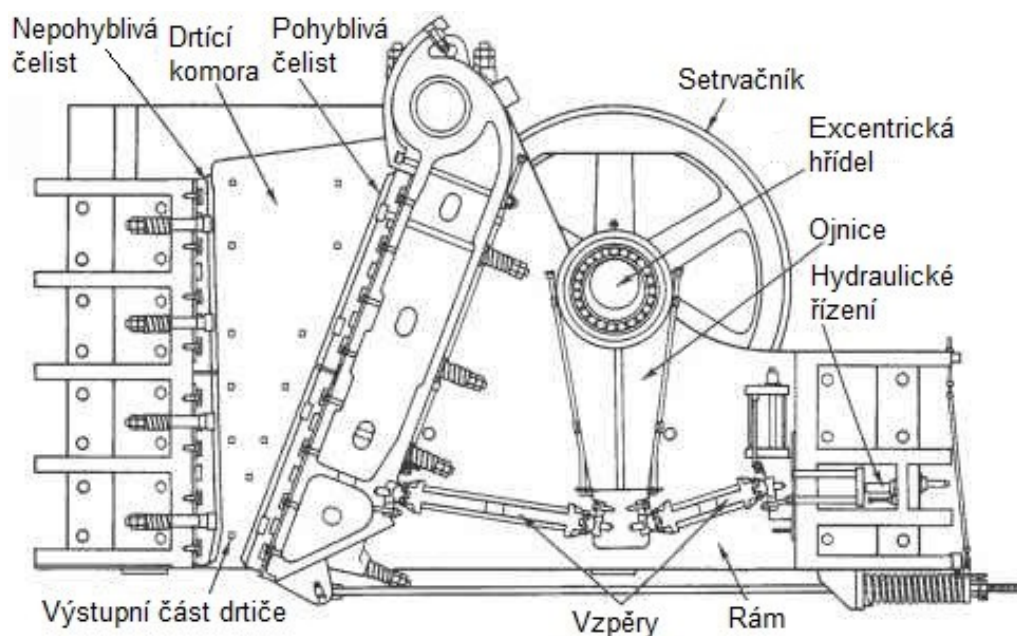
Konstrukce čelistového drtiče může být dle vzpěr pohyblivé čelisti jednovzpěrná (obr. 2.3), nebo dvouvzpěrná (obr. 2.4).

Výhodou čelistového drtiče je velký stupeň drcení materiálu, malá prašnost, malá hlučnost, možnost nastavení velikosti výstupního zrna, jednoduchá údržba, nízké provozní náklady a jednoduchá konstrukce.

Výkon až  $1300\ \text{t}\cdot\text{h}^{-1}$ , velikost vstupního zrna  $1020\ \text{mm} - 20\ \text{mm}$ .



Obr 2.3 Konstrukce čelistového drtiče jednovzpěrného [12]



Obr 2.4 Konstrukce čelistového drtiče dvouvzpěrného [13]

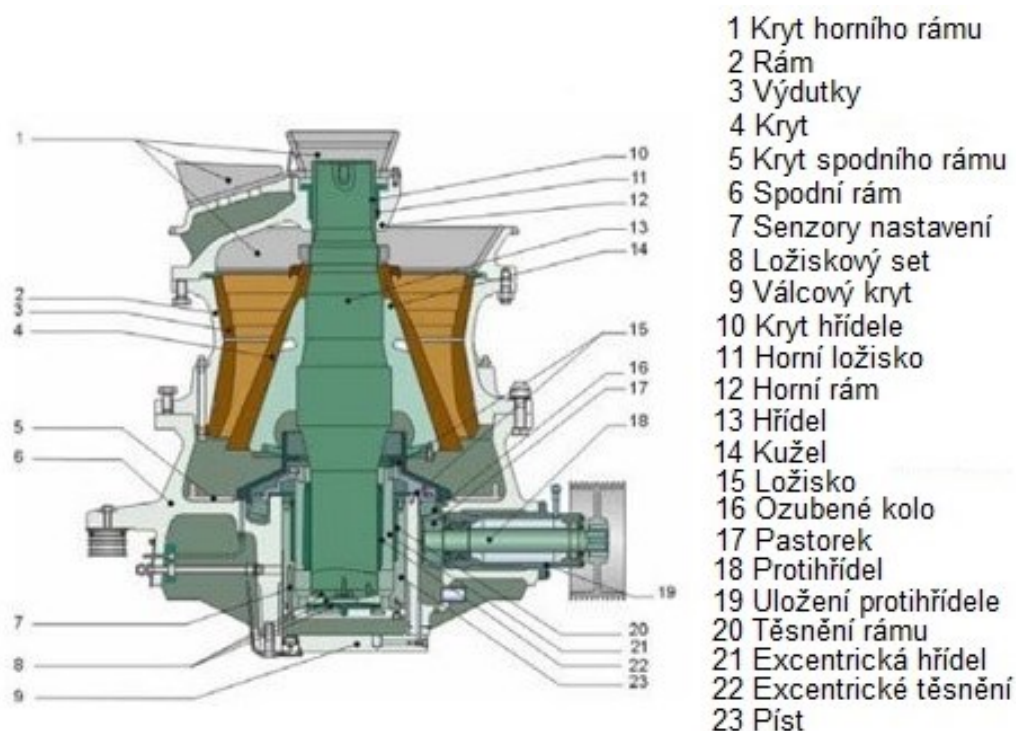
### 2.3 Kuželový drtič

Kuželový drtič (obr. 2.5) se používá pro rozpojování částic střední a velké velikosti. Použití drtiče je v rámci sekundárního a terciálního drcení pro těžené materiály v průmyslu, v hornictví a ve stavebnictví.

Materiál vstupuje vrchem mezi kužel, který se otáčí a vnitřní těleso drtiče. Kužel se otáčí ve vertikální ose a je uložen excentricky. Výstupní zrna lze tedy regulovat jak pomocí zvedání a snižování kužele, pomocí tvaru kužele, tak pomocí jeho vyosení. Zvláštním konstrukčním provedením kuželového drtiče je typ Symons.

Výhodou je možnost nastavení kužele, které mění velikost výstupního zrna, vysoký výkon, jednoduchá údržba a dlouhá životnost.

Výkon až  $1300 \text{ t.h}^{-1}$ , vstupní zrno 18 mm až 280 mm a výstupní od 0 mm po 119 mm. Stupeň drcení se pohybuje od 6 do 10.



Obr. 2.5 Kuželový drtič [14]

## 2.4 Symonsův drtič (krouživý)

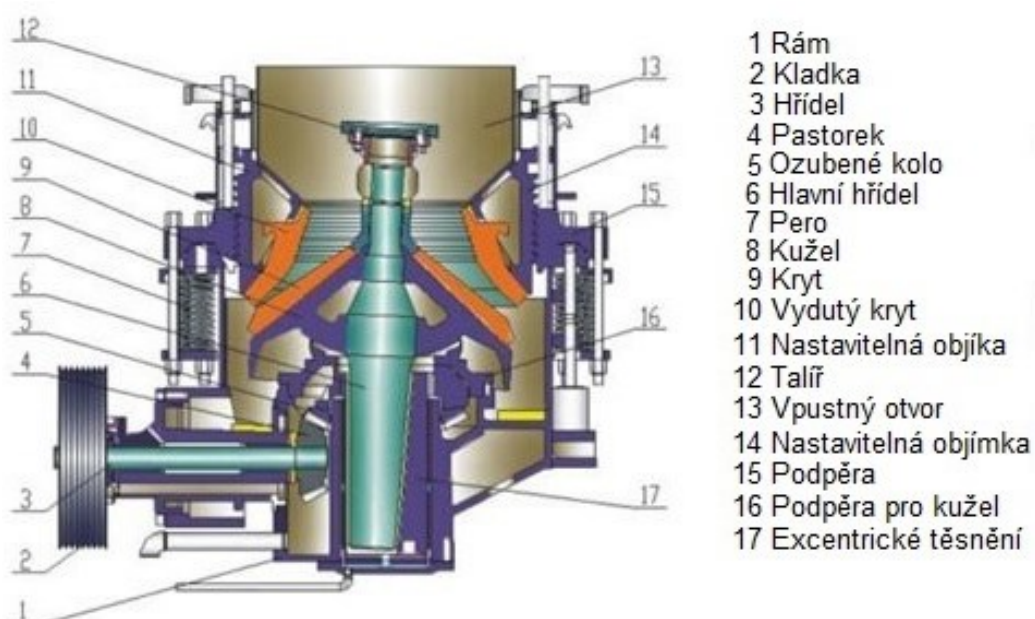
Symonsův drtič (obr. 2.6) rozpojuje částice střední a velké velikosti. Používá se jako primární a sekundární drcení v hornictví a při těžbě rud.

Symonsův drtič je konstrukčně podobný kuželovému drtiči (obr. 2.5). Vnitřní kužel má lehký krouticí pohyb, ale netočí se. Pohyb je vyvoláván excentrickým uspořádáním poháněcí hřídele. Princip je stejný jako u kuželového drtiče, to znamená, že materiál je rozpojován mezi kuzelem a vnitřním tělesem drtiče. Dosáhne-li materiál požadované velikosti částic, propadává mezerou mezi kuzelem a vnitřním tělem drtiče.

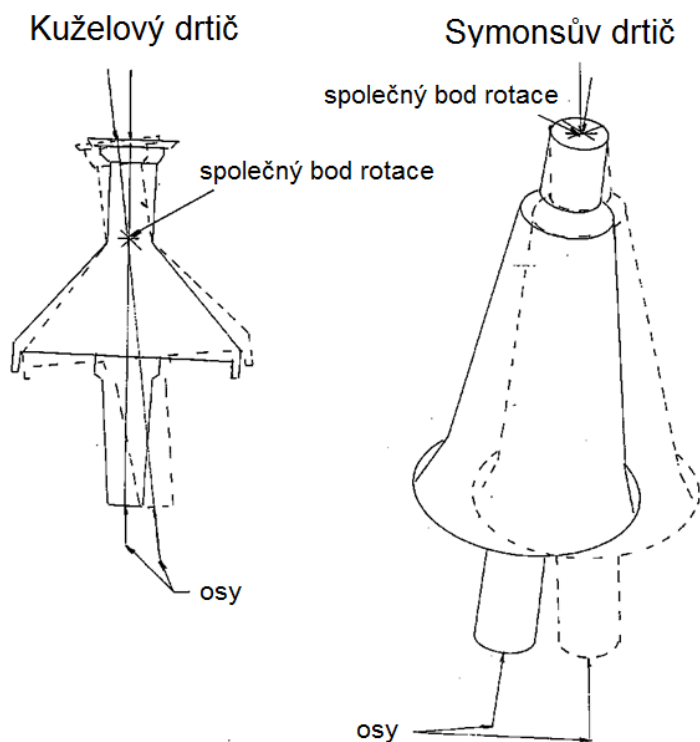
Největším znatelným rozdílem mezi kuželovým a krouživým drtičem je v bodě, který je středem rotace přímky kuželu drtiče (Obr. 2.7). Kuželový drtič má tento bod níže, zhruba na začátku svého kuželu, což je asi uprostřed hřídele, která unáší kužel. Krouživý drtič má tento bod na vrchním začátku hřídele, kterou se otáčí pomocí osy rotující okolo vnitřního radiusu drtiče. Hřídel je však nerotující okolo své svislé osy.

Výhodou je kontinuální drcení, napětí je menší než v čelistových drtičích, velikost vstupního zrna může být větší než v čelistových drtičích.

Výkon drcení až  $1000 \text{ t.h}^{-1}$ .



Obr. 2.6 Krouživý drtič [14]



Obr 2.7 Rozdíl pohybu krouživého a kuželového drtiče [15]

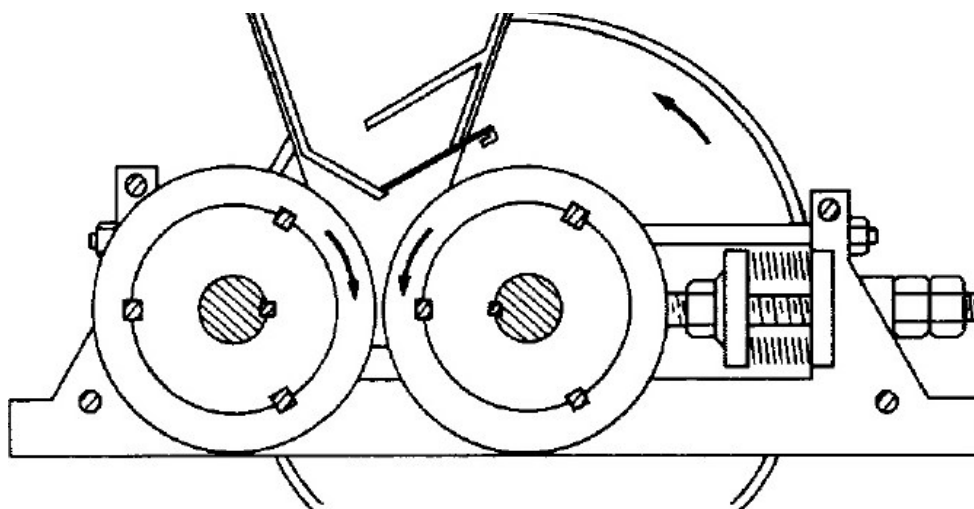
## 2.5 Válcový drtič

Válcový drtič se používá pro rozpojování středně tvrdých typů materiálů, rud a hornin. Volí se jako sekundární nebo terciální drcení a požití je vhodné pro středně hrubý a jemný sypký materiál. Využití je hlavně v chemickém průmyslu, ve stavebnictví, v cementářském průmyslu a podobně.

Konstrukčně je válcový drtič velmi jednoduchý. Jeho maximální tlak je při mechanickém tlaku 10 MPa a při hydraulicky vyvolaném tlaku až 200 MPa. Konstrukčně je řešený jako jedno válcový nebo dvouválcový. Zrno je drceno mezi válci které jsou k sobě přitlačovány a otáčí se směrem k sobě (obr. 2.8), nebo mezi válcem a těleso drtiče u jednoválcového drtiče (obr. 2.9).

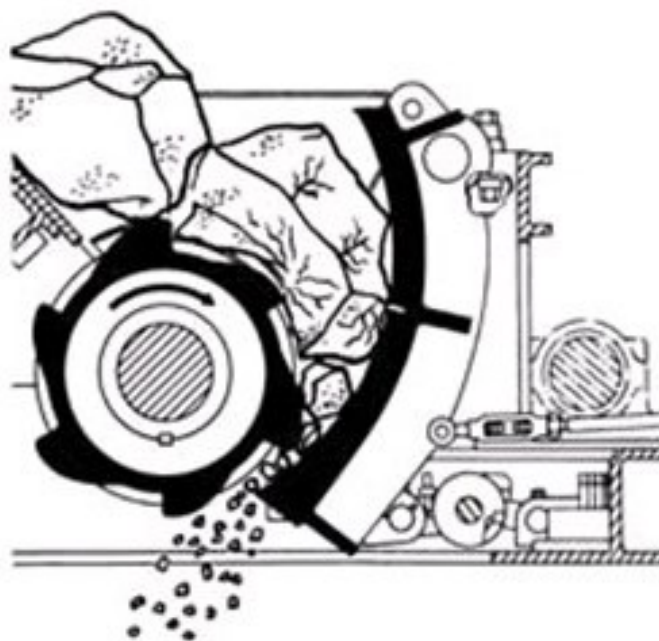
Výhodou je jednoduchá konstrukce, malá váha v poměru k výkonnosti oproti ostatním drtičům, což zapříčiňuje energetickou výhodnost procesu, regulovatelná velikost výstupní frakce, homogenizovaný výstupní materiál, nízká hlučnost a nízké opotřebení válců.

Drticí výkon až  $1000 \text{ t.h}^{-1}$ , maximální vstupní zrno 500 mm. Stupeň drcení je v rozmezí 4 až 6.



Obr. 2.8 Dvouválcový drtič s hladkými válci [17]





Obr. 2.9 Jednoválcový drtič [18]

## 2.6 Kladivový a nárazový drtič

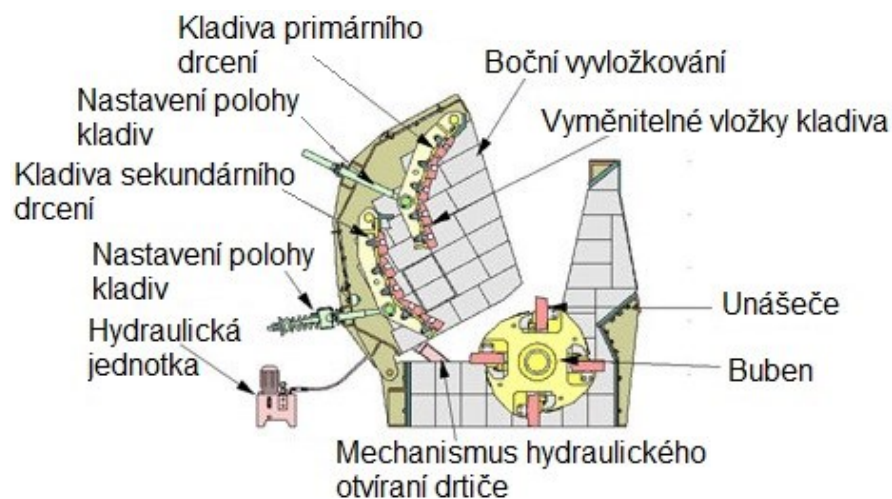
Nárazový drtič (obr. 2.10) se používá pro drcení materiálu od hrubého až po jemný. Jeho rozsah drcení je široký a používá se ve stavebnictví, chemickém průmyslu, energetice i hornictví.

Rozpojování materiálu probíhá v nárazovém drtiči formou rázové síly. Materiál vstupuje do těla drtiče a dopadá na buben s unašeči, kterým je vymrštěn proti kladivům primárního drcení. Kladiva primárního drcení zastavují materiál, který se o ně drtí a dopadá zpět na buben s unašeči. Odtud je materiál znovu vymrštěn na kladiva sekundárního drcení. Po dopadu materiálu zpět na buben je materiál vymrštěn na dopadovou plochu. Tím nastává terciální drcení. Rozpojený a podrcený materiál je nutno roztřídit.

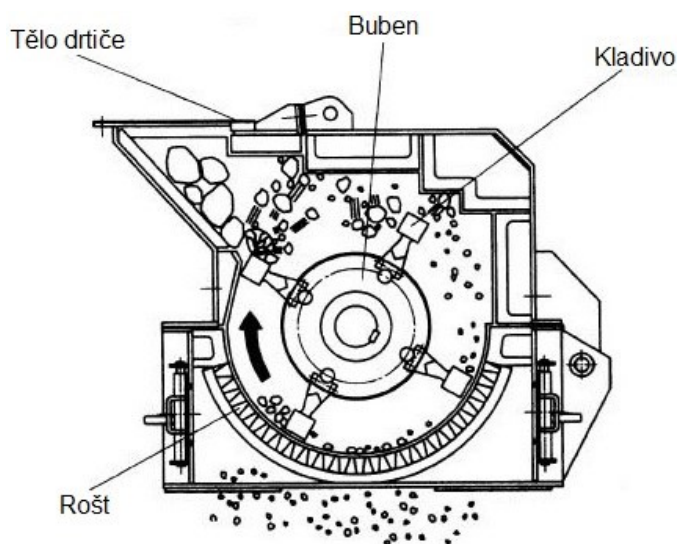
Kladivový drtič (obr. 2.11) se liší od nárazového soustavou kladiv umístěných na rotoru místo unašečů.

Výhodou je vysoký drticí výkon, bezpečný provoz a jednoduchá údržba.

Drticí výkon bývá do  $850 \text{ t.h}^{-1}$ , velikost vstupního zrna je až 500 mm a kompresní tlak až 360Mpa.



Obr. 2.10 Nárazový drtič [18]



Obr. 2.11 Kladivový drtič [19]

## 2.7 Perlový mlýn

Perlový mlýn je zařízení pro mletí částic, se zaručenou separací částic. Použití má ve farmacii, chemické a keramickém průmyslu, ve kterých zpracovává minerály, kovy, pigmenty, aj.

Perlový mlýn využívá mokré mletí s mletím velikostí částic pod 1  $\mu\text{m}$ . Mlýn může být horizontální (obr. 2.12), nebo vertikální (obr. 2.13). Mletí probíhá pomocí unášecího média, které obsahuje kuličky přibližně o průměru 0,5 mm. Toto médium turbulentně proudí přes rotory v cirkulačním oběhu. Na konci se musí oddělit kuličky od mletého materiálu.





Obr. 2.12 Perlový mlýn horizontální [20]



a)



b)

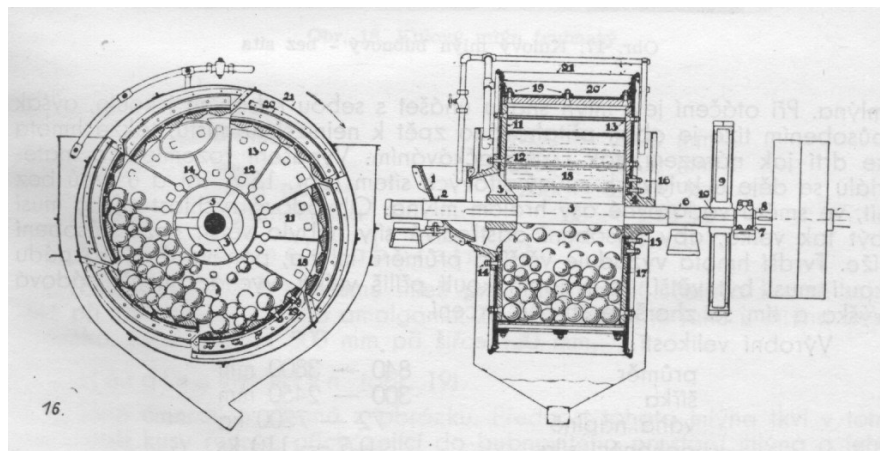
Obr. 2.13 Perlový mlýn vertikální a) při čistění, b) při provozu [21]

## 2.8 Kulový mlýn

Kulový mlýn (obr. 2.14) určen pro mletí jemných a velmi jemných práškových materiálů. Použití bývá specializované pro daný materiál v různých odvětvích průmyslu. Z materiálů to může být například mletí silikátů, chemických produktů, cementu, různých železných a neželezných materiálů, aj.

Drcení probíhá v pomalu otáčejícím se bubnu, ve kterém jsou keramické nebo kovové koule. Buben je k motoru připojen přes vnější planetové ozubení. Mlecí koule při rotačním pohybu bubnu pomocí odstředivých a gravitačních sil melou materiál.

Velikost vstupního zrna je pod 25 mm, drtící výkon až  $260 \text{ t.h}^{-1}$ , a výstupní zrna může být malé až 0,075 mm pro suché mletí nebo pod 1  $\mu\text{m}$  pro mletí v médiu.



Obr. 2.14 Kulový mlýn [22]

## 2.9 Další typy drtičů a mlýnů

Některé typy drtičů a mlýnů bývají úzce specializované, nebo bývají výhodné pro určitý druh materiálu. Mají podobnou stavbu a funkci, ale jsou pozměněny, aby drcení bylo vylepšeno. Ať už se jedná o účinnost, granulometrii, promíchání frakce, stejnorodost nebo různorodost frakce a další, dle požadavků na výsledný produkt sypkých materiálů.

Mezi takové patří například trubnatý mlýn. Místo koulí má ve svém bubnu oblázky (pazourkové koule) a je delší než kulový.

Hardingův mlýn je kulový mlýn, který má část těla kuželovitěho tvaru. Tento tvar zaručuje polohu největších koulí v největším průměru a nejmenších koulí v nejmenším průměru mlýnu. Materiál tak přichází do mlýna v místě s největšími koulemi a postupně se zmenšujícím se zrna materiálu se zmenšují i koule.

Dalším je tyčový mlýn. Místo koulí má ve svém bubnu tyče, používá se pro lepivější materiály, ale není vhodný pro tvrdé materiály. Materiál mívá stejnoměrnější zrna.

Planetární kulový mlýn je menší než kulový mlýn. Používá se v laboratorních podmínkách pro mletí velmi jemných prášků.

Koloidní mlýn produkuje rozptýlené částice velmi malých rozměrů. Pro rozptýl se používají suspenze a emulze. Velikost vstupních částic se pohybují okolo 50  $\mu\text{m}$ .

Kulový mlýn se používá pro drcení velmi tvrdých hornin. Mletí probíhá rozmačkováním a rozemíláním.

Mezi velmi specializované aplikace patří mlýn fluidní energie, elektrohydraulický drtič, ultrasonický drtič, kryogenický drtič, aj.

### 3 Výběr varianty řešení

V návrhové části diplomové práce jsem se zaměřil na výběr rozvolňovacího zařízení. Z několika možných variant jsem zvolil tři, které jsem blíže zhodnotil. Dle vlastností a konstrukce by mnou zvolená varianta měla být nejvýhodnější. Volba drtiče nebo rozměňovacího zařízení je s ohledem na tyto parametry:

- Mechanicko-fyzikální vlastnosti rozpojovaného materiálu
- Velikost vstupního zrna
- Velikost výstupního zrna
- Dopravní výkon drtícího zařízení ( $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  nebo  $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ )
- Prostorové uspořádání s ohledem na velikost drtícího zařízení

#### 3.1 Varianta č. 1 – čelistový drtič

Čelistový drtič se používá pro primární drcení suchého nelepivého materiálu. Tlakem až 320 MPa drtí materiály v hornictví, stavebnictví nebo v chemickém průmyslu.

Drcení materiálu probíhá tlakem, který je vyvoláván excentricky kloubově uložená čelist. Materiál prochází mezi pohyblivou a pevnou čelistí. Protilehlé čelisti tvoří V nebo půl V.

Malou nevýhodou by mohlo být, že se materiál hýbe periodicky v závislosti na otáčkách excentrického hřídele. Dalším problémem by mohla být robustní konstrukce drtiče. V mém případě není nutné mít ani velký stupeň drcení, ani velký dopravní výkon. Velkým problémem by byl drcený materiál, který tvoří nálepky, proto tato aplikace není vhodná.

#### 3.2 Varianta č. 2 – kuželový drtič

Použití drtiče je v rámci sekundárního drcení pro střední a velké částice těžného materiálu v průmyslu, v hornictví a ve stavebnictví. Používá se pro středně tvrdé a nelepivé materiály.

Materiál je drcen roztíráním mezi excentricky uloženým válcovým nebo kuželovým rotorem a kónickou komorou. Kuželový drtič může být ostroúhlý nebo tupoúhlý.

Kuželový drtič má asi o polovinu menší spotřebu energie než čelistový drtič, ale aplikace není vhodná pro střední a malé částice lepidivého černého uhlí, které by ucpávali

prostor mezi kuželem a komorou. Stupeň drcení velikosti částic je větší, než moje aplikace vyžaduje. Kuželový drtič není vhodná varianta.

### 3.3 Varianta č. 3 – válcový drtič

Použití válcového drtiče je pro rozpojování středně tvrdých typů materiálů, rud a hornin. Středně velké a malé částice sypkého materiálu jsou drceny jako sekundární nebo terciální drcení. Využití v chemickém průmyslu, ve stavebnictví, v cementářském průmyslu a energetice.

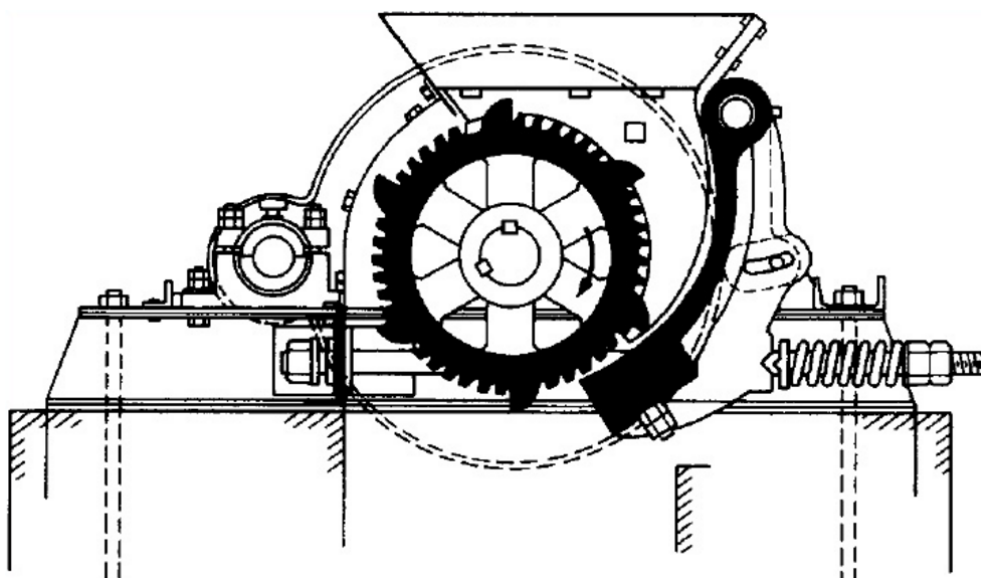
Konstrukčně je válcový drtič velmi jednoduchý. Maximální tlak válcového drtiče je při mechanickém tlaku 10 MPa.

Výhodou je jednoduchá konstrukce, malá váha v poměru k výkonnosti oproti ostatním drtičům, což zapříčiňuje energetickou výhodnost procesu, regulovatelná velikost výstupní frakce, homogenizovaný výstupní materiál, nízká hlučnost a nízké opotřebení válců.

Pro moji aplikaci vyhovuje jak výstupním dopravním výkonem, konstrukčním uspořádáním i stupněm drcení.

### 3.4 Volba rozdružovače

Volím variantu č. 3 - jednoválcový drtič s ozubeným válcem z důvodu prostorového uspořádání drtiče a jeho přednosti v menších rozměrech než ostatní varianty. Dosahuje dostatečných dopravních výkonů a konstrukčně je jeden z nejjednodušších drtičích zařízení.



Obr. 3.1 Jednoválcový ozubený drtič [21]

## 4 Mechanicko-fyzikální vlastnosti černého uhlí

Ke správnému návrhu a volbě rozdrůžovače je jedním z nejdůležitějších parametrů znalost mechanicko-fyzikálních vlastností drceného materiálu. Vlastnosti odebraného vzorku černého uhlí jsem proměřil za přispění Ing. Jakuba Hlosty v Laboratoři sypkých hmot VŠB-TU Ostrava.

### 4.1 Měření jednoosého tlakového napětí zmrzlého černého uhlí

Vzorek je před měřením připravován. Nejprve se protřídí na správnou granulometrii. Síta s rozsahem 1 až 5 [mm] je použito, všechny zrna větší než 5 mm a menší než 1 [mm] jsou odstraněna. Poté je tento vzorek odstraněn vlhkosti ve vzduchové peci při teplotě 110 [°C]. Při této teplotě je většina vlhkosti z uhlí odstraněna. Uhlí se okamžitě zváží, aby se na něj při chlazení nenavázala vlhkost a váha se porovná s váhou před odstraňováním vlhkosti.

Příprava uhlí na zmrazení probíhá homogenizací vzorku, který se nasype do kyblíku. Po homogenizaci se přesype do několika lahví a do každé láhve se přidá obsah vody odpovídající danému vzorku. Celkový obsah vody ve vzorcích je 10 [%] až 20 [%] s odstupem po 2 [%] (6 vzorků). Láhev je protřepána, aby se voda a uhlí dobře promíchalo. Nakonec se nechají vzorky 24 hodin odležet.

Posledním krokem přípravy je přesypání uhlí z lahví do válců, které se nechají zamrazit. Tyto plastové válce jsou z PVC, aby byly schopny vydržet teplotu mražení. Teploty mražení byly -20 [°C] po dobu 24 [h]. Po 24 [h] byly válce odstraněny.

Takto vzniklé válce zmraženého uhlí jsou podrobeny mechanickému testu tlakového napětí až do bodu lomu.

Výsledky tlakového napětí jsou v Tab. 4.1 v [MPa]:

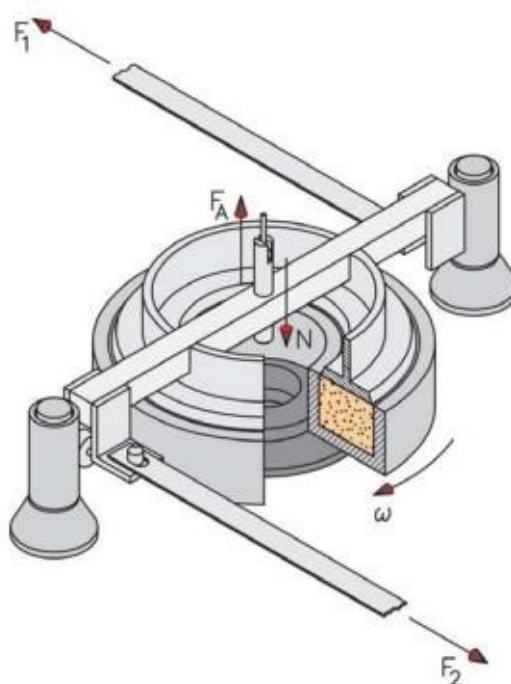
Voda [%]	Vzorek 1. [Mpa]	Vzorek 2. [Mpa]	Vzorek 3. [Mpa]	Vzorek 4. [Mpa]
10	0,23	0,36	0,60	0,68
12	0,44	0,63	0,75	0,83
14	0,59	0,69	1,00	1,17
16	0,88	1,09	1,38	1,46
18	1,38	1,65	2,43	2,60
20	2,43	2,60	3,57	3,19

Tab. 4.1 Průměrné hodnoty tlakového napětí pro zmrzlé uhlí různých vzorků

Jsou to průměrné výsledky ze všech testů pro různé vzorky uhlí. Všechny výsledky jsou zpracovány v příloze C. V určitých případech dosahuje zmrzlé uhlí lomu až při tlakovém napětí 4,3 [MPa], proto volím výpočetní hodnotu drtiče  $\sigma_{zu} = 4,5$  [MPa].

#### 4.2 Měření vnitřního tření

Úhel vnitřního tření je míra disipačních prací, která vzniká smykem mezi vrstvami materiálu. Aby došlo k toku sypké hmoty, je zapotřebí překonat mez kluzu materiálu. Fyzikální vlastnosti materiálu, jako jsou velikost, tvar a povrch částic, výrazně ovlivňují mez kluzu, stejně jako obsah vlhkosti nebo různých aditiv.



Obr. 4.1 Rotační smykový stroj Schulze [11]

K měření vnitřního tření bylo použito rotačního smykového stroje Schulze, (Obr. 4.1). Hlavními částmi rotačního smykového stroje je smyková cela obsahující vzorek prášku a smykové víko (Obr. 4.2). Smykové víko má radiální přepážky, které se zabořují do materiálu. Vzniká smyková rovina, na které je měřeno smykové napětí. Smyková hlava je zatěžována směrem dolů, dokud není zajištěn dostatečný a stabilní tlak mezi hlavou a sypkou hmotou. Tento tlak je nazýván normálové napětí. Je vyvozováno na smykovém víku pomocí závaží, které je umístěné pod pracovní plochou stroje.

Smyková cela se naplní po okraj sybkým materiálem a přiklopí se smykovým víkem. Všechny ostatní části stroje se nastaví a upevní do správné polohy. Víko se začne pomalu otáčet a vyvolávat v sypké hmotě smykové napětí. V materiálu se zvyšuje smykové napětí

až do ustrížení materiálu ve směru smykové roviny. Maximální hodnota přeneseného smykového napětí je strojem zapsána a po vykonání testu vyhodnocena. K měření smykového napětí slouží tenzometry připojené k malému nosníku na horní straně víka.

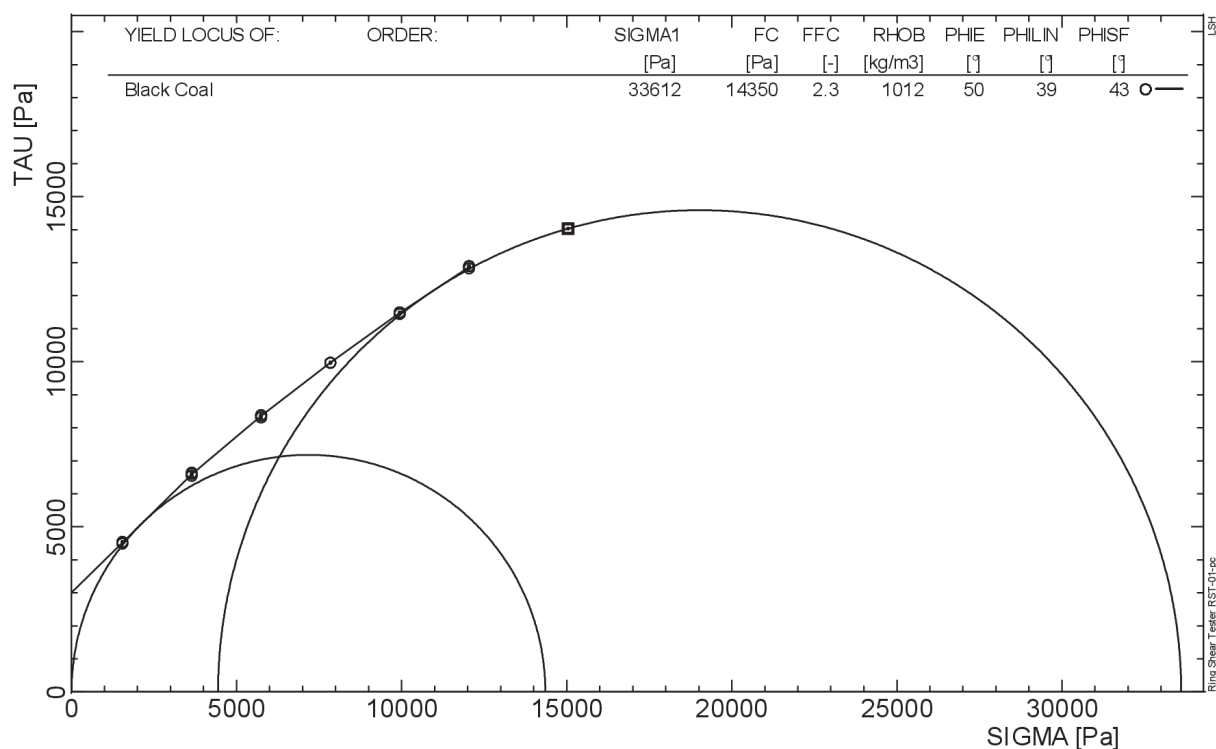
Naměřené hodnoty a jejich výstup jsou zaznamenány a popsány pomocí Mohrových kružnic.



Obr. 4.2 Smyková cela a smykové víko [11]

Na Obr. 4.3 je znázorněna závislost střížného napětí k normálovému napětí v materiálu. Úhel vnitřního tření černého uhlí se pohybuje od 40 [°] do 60 [°], přičemž mnou naměřená hodnota je střední hodnota 50 [°]. Výpočet je proveden se součinitelem vnitřního tření materiálu  $f_i = 1,2$  [-].

Počáteční smykové napětí neboli soudržnost (cohesion) má hodnotu  $\tau_o = 14350$  [Pa].



Obr. 4.3 Smykové napětí závislé na normálovém napětí v materiálu [11]

#### 4.3 Měření vnějšího tření

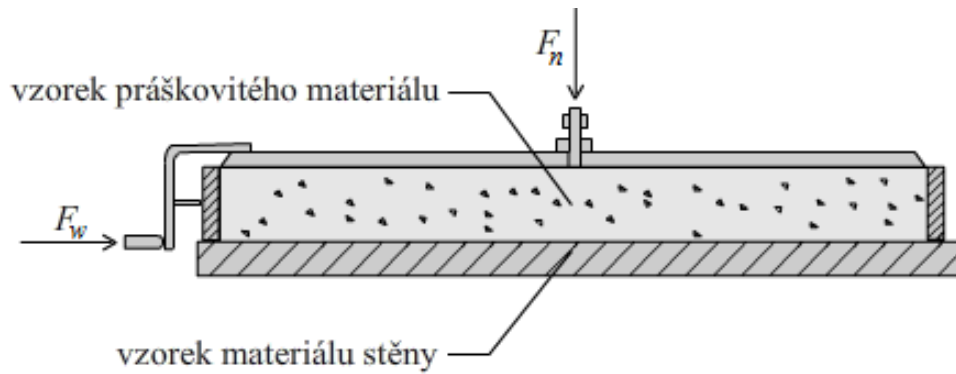
Měření vnějšího úhlu tření je možno provádět na Jeniho smykovém stroji (Obr. 4.4). Tato zkouška je standardem Working Party on the Mechanics of Particulate Solids (WPMPS).

Jenikého smykový stroj se pro měření vnějšího úhlu skládá ze smykového kroužku, třmenu, kolíku, vzorku materiálu stěny a smykového víka.

Do Jenikého smykového stroje se upevní vzorek stěny materiálu. Na něj se položí smykový kroužek, který se po okraj zaplní zkoušeným sypkým materiálem. Materiál se přiklopí smykovým víkem a zatíží se závěsem se závažím.

Závaží se závěsem vyvolává vertikální normálovou sílu  $F_n$ . Změnou množství závaží je možno měnit tuto normálovou sílu, které vyvozuje normálové napětí  $\sigma_n$ . Na smykový kroužek působí smyková síla  $F_w$ , která vyvozuje smykové napětí  $\tau_w$  a snímá její velikost přes silový snímač. Překonáním příslušného zatížení  $F_n$  tak dostáváme příslušnou smykovou sílu  $F_w$ .





Obr. 4.4 Jenikeho smyková cela před měřením vnějšího tření [11]

Měření bylo provedeno pro 4, 8, 12 a 16 závaží. Síly jsem přepočtl na smykové napětí a z hodnot tíhy závaží  $m_z$ , hmotnosti držáku závaží a krycího víčka  $m_p$  a poloměru smykového kroužku  $r_1$  jsem vypočetl normálového napětí.

Hmotnost jednoho závaží  $m_z = 1,1$  [kg], hmotnost držáku závaží a krycího víčka  $m_p = 1,515$  [kg], poloměr smykového kroužku  $r_1 = 0,046$  [kg]. Plocha smykového kroužku  $A$ :

$$\begin{aligned}
 A &= \pi \cdot r_1^2 \\
 A &= \pi \cdot 0,046^2 \\
 A &= 6,648 \cdot 10^{-3} [m^2]
 \end{aligned}
 \tag{11} (4.1)$$

Normálová síla  $F_n$ :

$$F_n = (n \cdot m_z + m_p) \cdot g \tag{11} (4.2)$$

Příklad výpočtu normálového napětí pro 4 závaží:

$$\begin{aligned}
 \sigma_n &= \frac{F_n}{A} = \frac{(n \cdot m_z + m_p) \cdot g}{A} \\
 \sigma_n &= \frac{(4 \cdot 1,1 + 1,515) \cdot 9,81}{6,648 \cdot 10^{-3}} \\
 \sigma_n &= 8729 [Pa]
 \end{aligned}
 \tag{11} (4.3)$$

Příklad přepočítání smykové síly  $F_w$  na smykové napětí  $\tau_w$ :

$$\tau_w = \frac{F_w}{A}$$

$$\tau_w = \frac{14,5}{6,648 \cdot 10^{-3}} \quad [11] \quad (4.4)$$

$$\tau_w = 2181 [Pa]$$

Tabulka naměřených a přepočítaných hodnot:

Počet kusů závaží [ks]	$\sigma_n$ [kPa]	$\tau_{w1}$ [kPa]	$\tau_{w2}$ [kPa]	$\tau_{w3}$ [kPa]	$\tau_{w4}$ [kPa]	$\tau_{w5}$ [kPa]
4	8,729	2,181	2,407	2,407	2,332	2,106
8	15,222	3,761	4,137	4,062	3,986	3,686
12	21,715	5,34	5,867	5,867	5,566	5,415
16	28,208	6,393	7,522	7,522	7,221	7,07

Tab. 4.2 Naměřené a přepočítané hodnoty napětí Jenikeho smykové zkoušky

Poměr normálového napětí a smykového napětí udává hodnotu tangenty úhlu vnějšího tření mezi černým uhlím a stěnou z HARDOXu. Příklad výpočtu:

$$\operatorname{tg} \varphi_w = \frac{\sigma_n}{\tau_w}$$

$$\varphi_w = \operatorname{arctg} \frac{\sigma_n}{\tau_w} \quad [11] \quad (4.5)$$

$$\varphi_w = \operatorname{arctg} \frac{2,181}{8,729} = 14,03 [^\circ]$$

Tabulka vypočítaných hodnot úhlů vnějšího tření HARDOX – černé uhlí:

Počet kusů závaží [ks]	$\varphi_{w1} [^\circ]$	$\varphi_{w2} [^\circ]$	$\varphi_{w3} [^\circ]$	$\varphi_{w4} [^\circ]$	$\varphi_{w5} [^\circ]$
4	14,0	15,4	15,4	15,0	13,6
8	13,9	15,2	14,9	14,7	13,6
12	13,8	15,1	15,1	14,4	14,0
16	12,8	14,9	14,9	14,4	14,1

Tab. 4.3 Vypočítané hodnoty úhlů vnějšího tření HARDOX - černé uhlí

Výsledky úhlů vnějšího tření konečných křivek se pohybují od  $\varphi_w = 12,8 [^\circ]$  až do  $\varphi_w = 15,5 [^\circ]$ . Hodnota součinitele vnějšího tření mezi černým uhlím a nerezovou ocelí je v rozmezí  $f_w = 0,23 [-]$  až  $f_w = 0,3 [-]$ ,

Pro lepší přehlednost je výhodné použít grafické znázornění, ze kterého lze odečíst úhel vnějšího tření graficky (Obr. 4.5).



Obr. 4.5 naměřené křivky vnějšího tření HARDOX – černé uhlí [11]

Do výpočtů volím součinitel vnějšího tření mezi černým uhlím a HARDOX ocelí  $f_w = 0,3 [-]$ .

#### 4.4 Měření sypné hmotnosti

Rotační smykový stroj Schulze měří sypnou hmotnost materiálu při měření jeho vnitřního tření. Výsledek je zaznamenán na Obr. 4.3. Sypná hmotnost černého uhlí  $\rho_s$  je uvedena v tabulce Tab. 4.3.

#### 4.5 Tabulka naměřených hodnot

Tabulka naměřených hodnot mechanicko-fyzikálních vlastností rozvolňovaného materiálu – černého uhlí:

Název	Hodnota
průměrná velikost částic $d_{\xi}$	30 [mm]
úhel vnitřního tření $\varphi_i$	50 [°]
úhel vnějšího tření (HARDOX – č. uhlí) $f_w$	15 [°]
sypná hmotnost černého uhlí $\rho_s$	1012 [kg.m <sup>-3</sup> ]
počáteční smykové napětí $\tau_o$	14350 [Pa]

Tab. 4.3 Naměřené mechanicko-fyzikální vlastnosti rozvolňovaného materiálu

## 5 Pohyb materiálu na předávacím místě

Pro správné plnění rozdružovače a z důvodů konstrukčních, je třeba určit, jak se bude materiál pohybovat na předávacím místě. Materiál přepadává přes koncový buben pásového dopravníku a padá do zásobníku, který jej směřuje do drtiče. Při určité rychlosti může materiál padat přímo do drtiče, což je nežádoucí z důvodu přetěžování ložisek válce rozdružovače.

Minimální a maximální rychlost pásového dopravníku je určena pomocí základní úlohy přepadu přes koncový buben s při nezanedbaném tření.

### 5.1 Určení paraboly přepadu

Základní určení paraboly přepadu je pomocí rozložení do parametrických rovnic os  $x$  a  $y$ . Za kladný směr budeme na ose  $y$  považovat směr dolů. Vzdálenosti  $x$  [m] a  $y$  [m] jsou závislé na rychlosti pásového dopravníku  $v$  [m.s<sup>-1</sup>], času  $t$  [s]:

$$x = v \cdot \cos\beta \cdot t \quad [3] \quad (5.1)$$

$$y = v \cdot \sin\beta \cdot t + \frac{g \cdot t^2}{2} \quad [3] \quad (5.2)$$

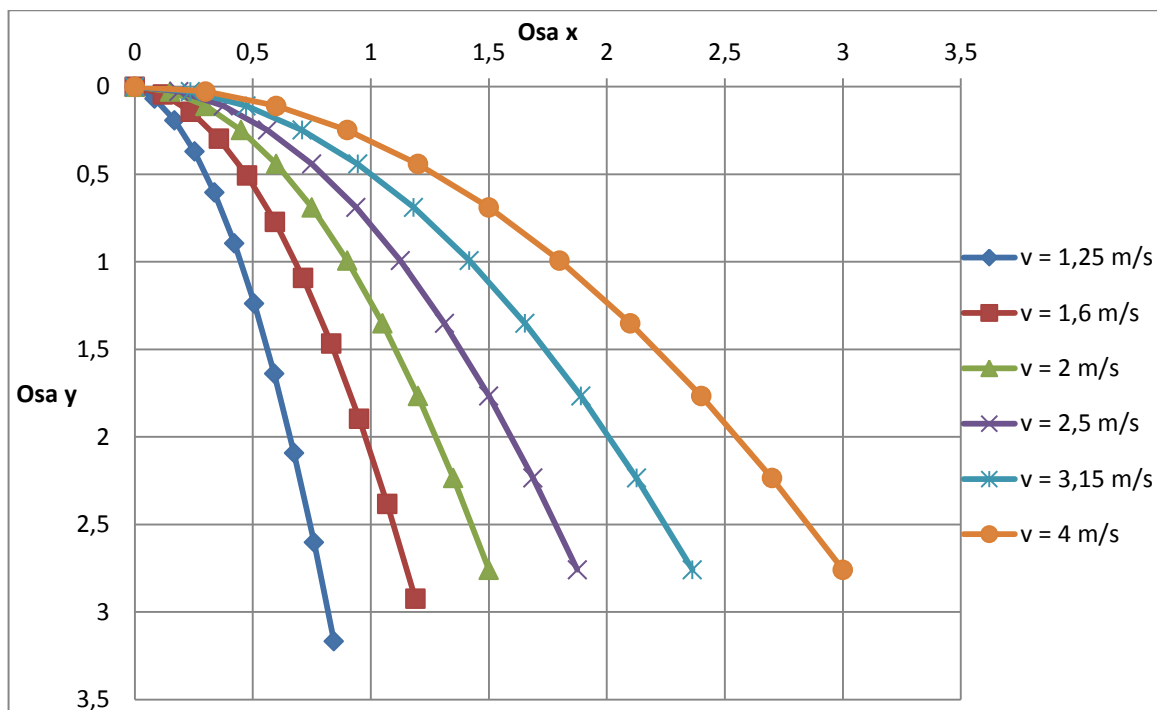
Kde  $\beta$  [°] je úhel tečny k vrhové parabole určený ze vztahu:

$$\beta = 90[^\circ] - \alpha_\beta \quad [3] \quad (5.3)$$

Kde  $\alpha_\beta$  [°] je úhel odpoutání materiálu určený ze vztahu:

$$\alpha_\beta = \varphi - \arcsin\left(\frac{r \cdot \omega^2}{g} \cdot \sin\varphi\right) \quad [3] \quad (5.4)$$

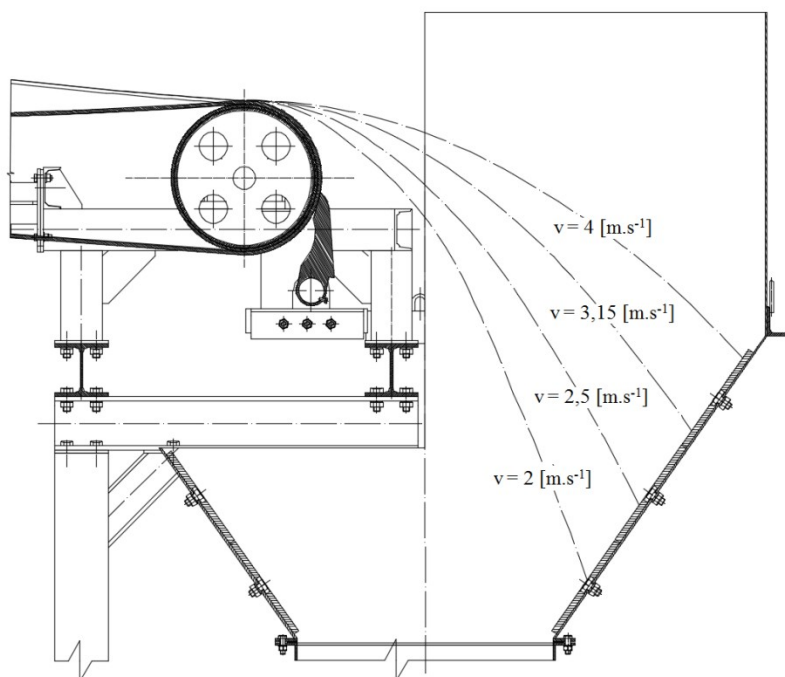
Vypočtené body  $x$  a  $y$  se proloží křivkou (parabolou), která nám vykreslí graf křivek přepadávání materiálu přes koncový buben. Výsledky výpočtů jsou uvedené v příloze D.



Obr. 5.1 Přepadové křivky koncového bubnu v závislosti na rychlosti

Po dosazení křivek do grafického řešení násypky nám vyplyne vhodné řešení. Chci, aby materiál narážel na bok násypky, kterou vystelí vyměnitelnou vložkou z HARDOXU. Materiál tak bude sklouzávat do rozdužovače, čímž odstraním nežádoucí efekt padání materiálu přímo na válec rozdužovače.

Minimální rychlost pásového dopravníku by měla být  $v = 2 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$  a maximální rychlost pásového dopravníku  $v = 4 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$



Obr. 5.2 Přepadové křivky na skutečném dopadovém místě

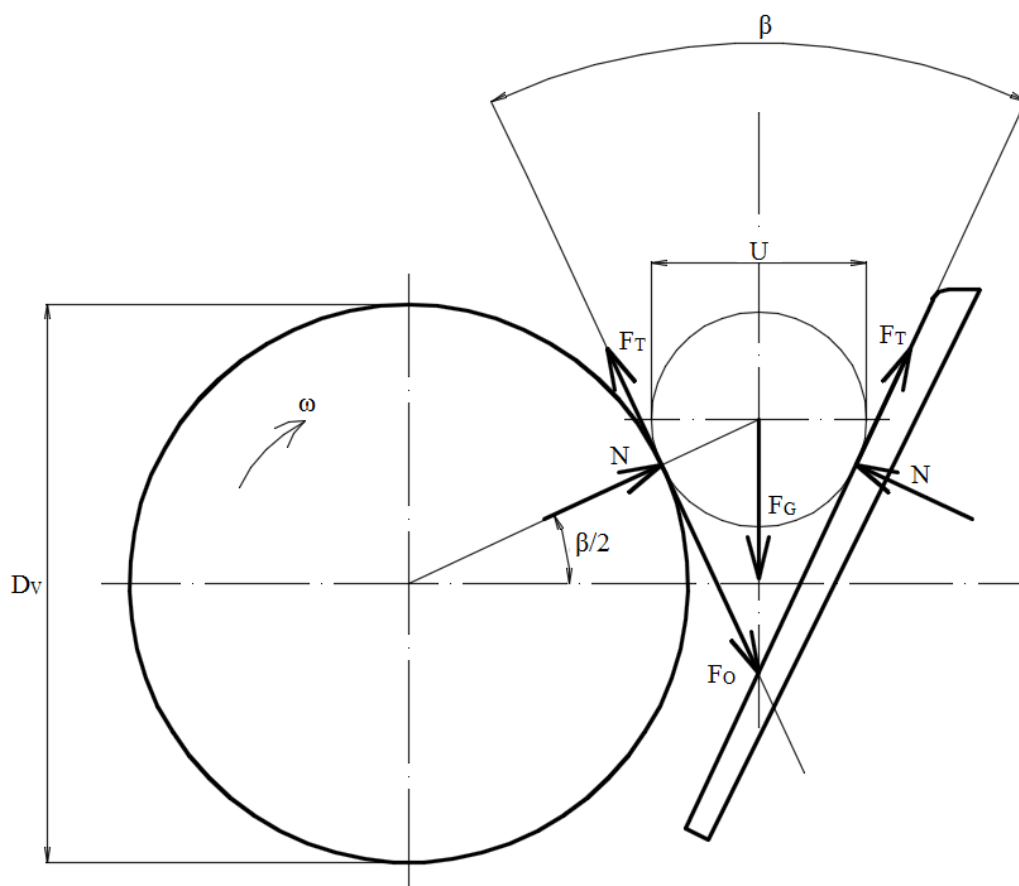
## 6 Technologické výpočty

### 6.1 Teorie výpočtu

Pro správnou funkci rozdrůžovače je nutné zajistit dobré vtahování zrn mezi válec a stěnu rozdrůžovače (Obr. 6.1). Zrno je vtahováno působením obvodové síly válce rozdrůžovače  $F_O$  [N]. Nejhorší případ nastává pro zrno absolutně kulaté s nekonečnou tuhostí a zatížení zrna pouze vlastní tíhou. Pokud obvodová síla válce  $F_O$  [N] překoná obě třecí síly  $F_T$  [N], pak se zrno začne protáčet. Tato podmínka však platí pro válec a čelist bez zubů a drážek.

Podmínkou pro správné vtahování je tedy obvodová síla  $F_O$  [N], která musí být větší než třecí síly  $F_T$  [N] a současné zatížení zrna tíhou dalšího materiálu. Zrna dále nebudou mít téměř nikdy dokonalý tvar koule a jsou deformovatelná. Válec rozdrůžovače bude osazen zuby.

Konstrukce rozdrůžovače by měla splnit teoretickou podmínku pro vtahování vzorce 6.1, ale konečná funkčnost závisí na vlastnostech drceného materiálu, které v mém případě pro můj vybraný rozdrůžovač nejsou z hlediska funkčnosti překážkou.



Obr. 6.1 Silové poměry na válci drtiče

$$\beta \leq 2 \cdot \varphi_w$$

$$30^\circ \leq 2.15^\circ$$

$$30^\circ = 30^\circ$$

[6] (6.1)

Teoretická podmínka pro dobré vtahování zrn do drtiče (6.1) je splněna.

## 6.2 Maximální propustná rychlost rozdružovače

Maximální rychlost, kterou je schopen materiál drtičem propadnout, je dána minimální mezerou mezičelistí a válcem rozdružovače  $u = 0,05$  [m], délkou rozdružovacího válce  $L_V = 1,5$  [m], hydraulickým poloměrem  $R_{MAX}$  [m], koeficientem výtoku  $\lambda = 0,6$  [-], koeficientem synnosti  $k = 0,13$  [-], koeficientem dynamiky  $k_d = 1$  [-] (pohyb materiálu), koeficientem závěsu  $k_o = 1$  [-] a součinitelem vnitřního tření černého uhlí  $f_i = 1,2$  [-].

Hydraulický poloměr  $R_{MAX}$  [m]:

$$R_{MAX} = \frac{S_{MAX}}{O_{MAX}} = \frac{u \cdot L_V}{2 \cdot u + 2 \cdot L_V}$$

$$R_{MAX} = \frac{1,5 \cdot 0,05}{2 \cdot 1,5 + 2 \cdot 0,05} \quad [29]$$

(6.2)

$$R_{MAX} = 0,0242 \text{ [m]}$$

Maximální propustná rychlost rozdružovače  $v_{MAX}$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ] je počítána:

$$v_{MAX} = \lambda \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot R_{MAX} \cdot k_D \cdot k_O}{f_i \cdot k}}$$

[2]

$$v_{MAX} = 0,6 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,0242 \cdot 1 \cdot 1}{1,2 \cdot 0,13}}$$

(6.3)

$$v_{MAX} = 1,05 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Maximální výpustná rychlost rozdružovače je  $v_{MAX} = 1,05$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]. Otáčky válce je  $n_{vMAX}$  [ $\text{s}^{-1}$ ] pro maximální propustnou obvodovou rychlost rozdružovače  $v_{MAX}$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]:



$$n_{VMAX} = \frac{60 \cdot v_{MAX}}{\pi \cdot D_V}$$

$$n_{VMAX} = \frac{60 \cdot 1,05}{\pi \cdot 0,65} \quad (6.4)$$

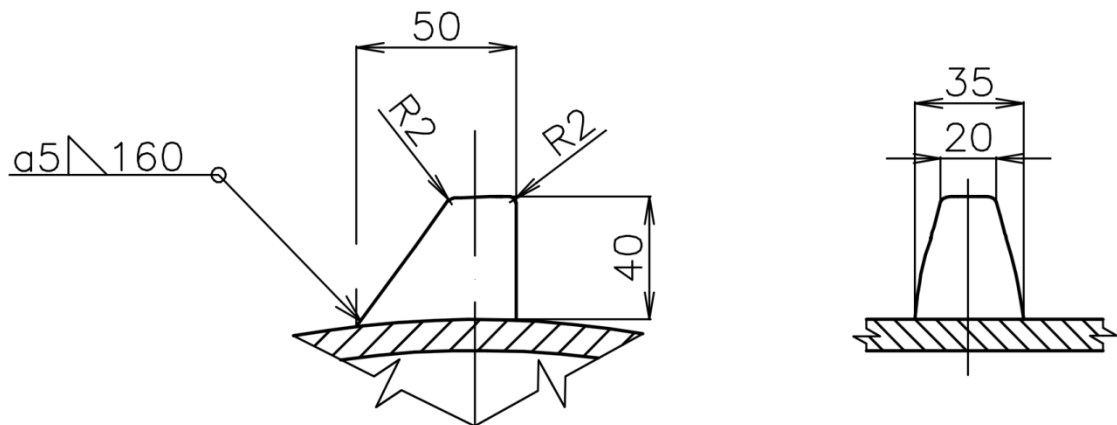
$$n_{VMAX} = 30 [\text{min}^{-1}]$$

Maximální dopravované množství rozdrůžovače bude při otáčkách válce  $n_{VMAX} = 30 [\text{min}^{-1}]$ .

Dopravní výkon rozdrůžovače se při zvětšujících se otáčkách nebude zvyšovat od okamžiku překročení otáček maximálního dopravovaného množství  $n_{VMAX} [\text{min}^{-1}]$ . Rychlost válce rozdrůžovače musí být vyšší, protože k rozdrůžování materiálu dochází i kinetickou energií vytvořenou rychlostí otáčení válce. Volím rychlost válce rozdrůžovače  $n_V = 70 [\text{min}^{-1}]$

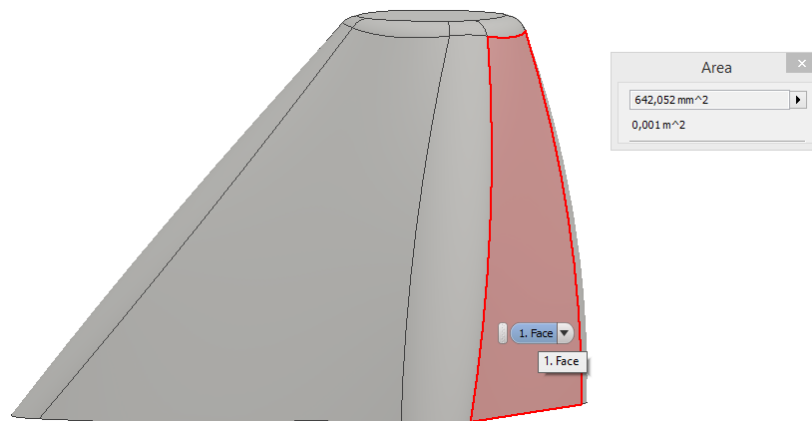
### 6.3 Výpočet příkonu

Maximální drtící síla na jeden nůž  $F [\text{N}]$  je závislá na pevnosti v tlaku drceného materiálu, který je drcen, ploše zubu  $S_N [\text{m}^2]$ .



Obr. 6.2 Rozměry zubu

Drtící plocha (Obr. 6.3) spočítaná softwarem Inventor je velká  $642,1 [\text{mm}^2]$ . Z důvodu opotřebení v průběhu životnosti a pro předimenzování volím  $S_N = 700 [\text{mm}^2]$ .



Obr. 6.3 Drtící plocha zubu

Pevnost v tlaku drceného materiálu  $\sigma_{zu} = 4,5$  [MPa] a plocha nože  $S_N = 700 \cdot 10^{-6}$  [m<sup>2</sup>] (Obr. 6.2):

$$F = S_N \cdot \sigma_{zu}$$

$$F = 700 \cdot 10^{-6} \cdot 4,5 \cdot 10^6 \quad [6] \quad (6.5)$$

$$F = 3150 [\text{N}]$$

Celková drtící síla  $F_C$  [N] je brána jako součet všech sil působících na jednotlivých nožích. To znamená, že záleží na počtu nožů v záběru a  $n_N$  součiniteli nakypření  $\mu = 1,2$  [-] (volí se  $1,1 \div 1,5$ ):

$$F_C = n_N \cdot F \cdot \mu$$

$$F_C = 9 \cdot 3150 \cdot 1,2 \quad [6] \quad (6.6)$$

$$F_C = 34\,020 [\text{N}]$$

Požadovaný výkon rozdružovače je závislý na obvodové rychlosti válce  $v_O$ , celkové drtící síle  $F_C$  [N] a součiniteli vnějšího tření mezi noži a uhlím  $f_w$  [-].

$$P_D = 1,15 \cdot F_C \cdot f_w \cdot v_O \quad [6] \quad (6.7)$$

Pro výpočet obvodové rychlosti válce  $v_O$  [m.s<sup>-1</sup>] je potřebné znát otáčky válce  $n_V$  [s<sup>-1</sup>] a průměr válce drtiče  $D_V$  [m]:

$$v_O = 2 \cdot \pi \cdot n_V \cdot \frac{D_V}{2} \quad (6.8)$$

Po dosazení do původního vzorce 6.7:

$$\begin{aligned}
 P_D &= 1,15 \cdot F_C \cdot f_w \cdot \frac{D_V}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_V \\
 P_D &= 1,15 \cdot 34020 \cdot 0,3 \cdot \frac{0,65}{2} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 1,15 \\
 P_D &= 27\,562 [\text{W}] = 27,56 [\text{kW}]
 \end{aligned}
 \tag{6} \tag{6.9}$$

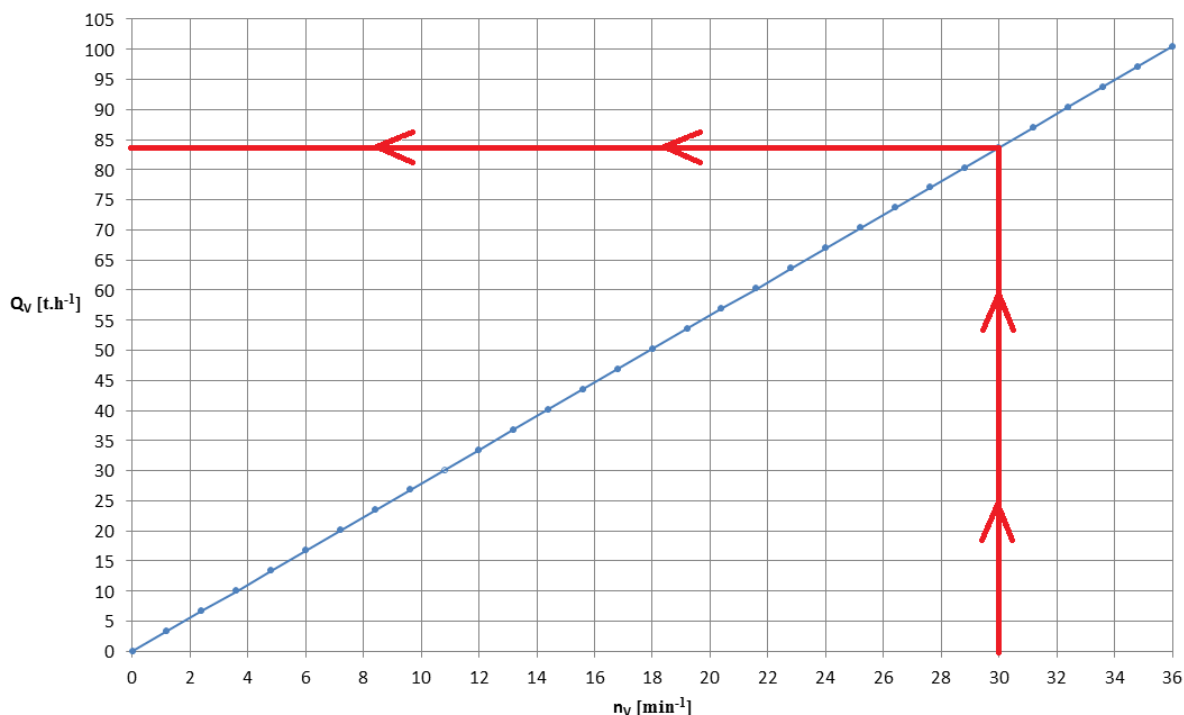
#### 6.4 Dopravované množství rozdružovače

Základní úloha mi pomůže sestrojit graf, který mi určí dopravované množství rozdružovače pro otáčky s maximální propustností.

Dopravované množství drceného uhlí  $Q_V$  [ $\text{t} \cdot \text{h}^{-1}$ ] se odvíjí od délky válce  $L_V = 1,5$  [m], průměru válce  $D_V = 0,65$  [m], výstupního zrna  $u = 0,05$  [m], sypné hmotnosti  $\rho_S = 1012$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ], otáček válce  $n_{V\text{MAX}} = 30$  [ $\text{min}^{-1}$ ] =  $0,5$  [ $\text{s}^{-1}$ ] a součinitele skutečného dopravovaného množství  $\eta_D = 0,3$  ( $0,15 \div 0,3$ ) [-].

$$\begin{aligned}
 Q_V &= 3,6 \cdot L_V \cdot \frac{D_V}{2} \cdot u \cdot \eta_D \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_V \cdot \rho_S \\
 Q_V &= 3,6 \cdot 1,5 \cdot \frac{0,65}{2} \cdot 0,05 \cdot 0,3 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 0,5 \cdot 1012 \\
 Q_V &= 84 [\text{t} \cdot \text{h}^{-1}]
 \end{aligned}
 \tag{3} \tag{6.10}$$

Graf (Obr. 5.3) je sestrojen pro otáčky v rozmezí od 0 [ $\text{min}^{-1}$ ] do 36 [ $\text{min}^{-1}$ ]. Dopravované množství se mění v závislosti na změně otáček.

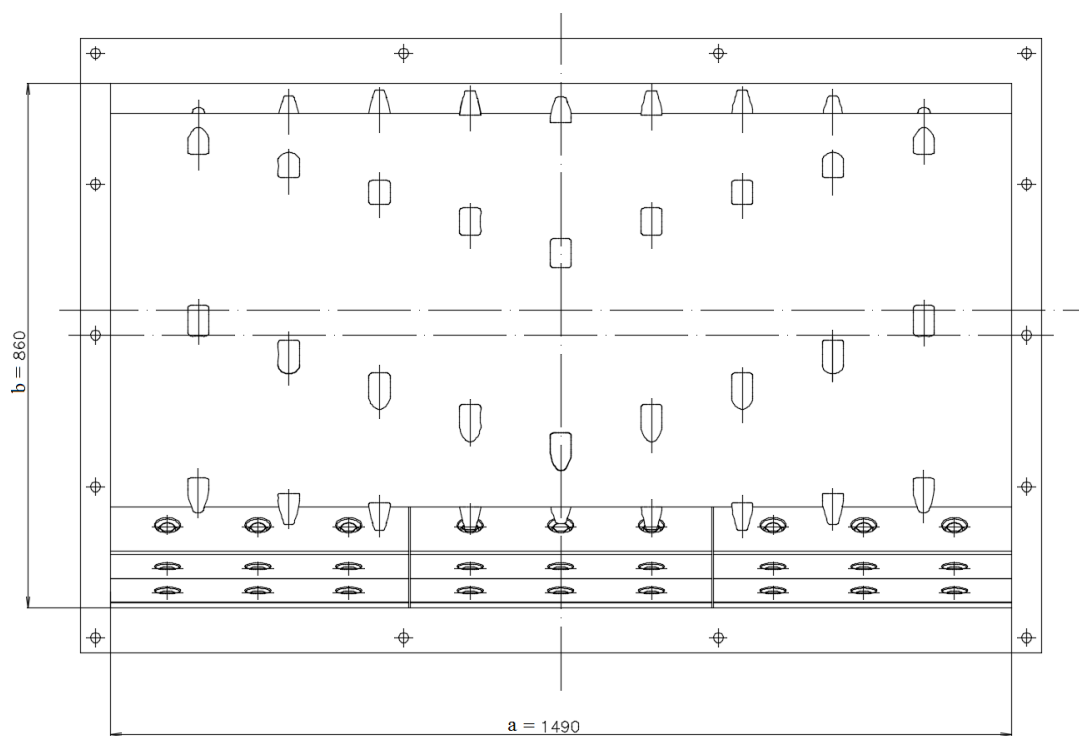


Obr. 6.4 Graf závislosti dopravovaného množství na změně otáček válce drtiče

Z grafu (Obr. 6.4) vyplývá to, co můžeme zjistit ze vzorce (6.7). Pro vypočtené maximálně propustné otáčky válce  $n_{V\text{MAX}} = 30 \text{ [min}^{-1}] = 0,5 \text{ [s}^{-1}]$  je daný dopravní výkon  $Q_V = 84 \text{ [t.h}^{-1}]$

## 6.5 Kontrola vstupní a výstupní rychlosti rozdružovače

Pro správnou funkci rozdružovače je potřeba zkontrolovat vstupní a výstupní rychlosti rozdružovače. Vypočítané hodnoty budou obsah plochy vstupního otvoru  $S_{VP} \text{ [m}^2]$  a výpustného otvoru  $S_{VY} \text{ [m}^2]$ , hydraulický poloměr vpustě  $R_{VP} \text{ [m]}$  a výpustě  $R_{VY} \text{ [m]}$  a rychlost průtoku materiálu  $v_{VP} \text{ [m.s}^{-1}]$  a  $v_{VY} \text{ [m.s}^{-1}]$ .



Obr. 6.5 Rozměry vpustě rozdružovače

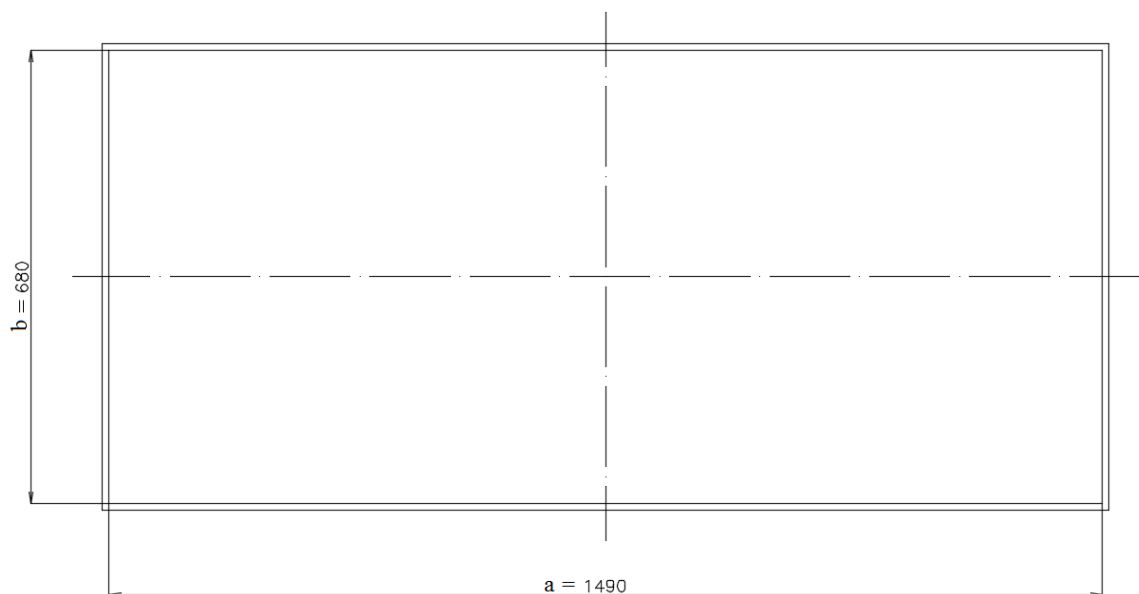
Plocha násypného otvoru rozdružovače  $S_{VP}$  [m<sup>2</sup>]:

$$S_{VP} = a_{VP} \cdot b_{VP}$$

$$S_{VP} = 1,49 \cdot 0,86$$

$$S_{VP} = 1,28 [\text{m}^2]$$

(6.11)



Obr. 6.6 Rozměry výpustě rozdružovače

Plocha výsypného otvoru rozdružovače  $S_{VY}$  [m<sup>2</sup>]:

$$\begin{aligned} S_{VY} &= a_{VY} \cdot b_{VY} \\ S_{VY} &= 1,49 \cdot 0,68 \\ S_{VY} &= 1,01 [\text{m}^2] \end{aligned} \quad (6.12)$$

Hydraulický poloměr násypného otvoru  $R_{VP}$  [m]:

$$\begin{aligned} R_{VP} &= \frac{S_{VP}}{o_{VP}} = \frac{a_{VP} \cdot b_{VP}}{2 \cdot a_{VP} + 2 \cdot b_{VP}} \\ R_{VP} &= \frac{1,49 \cdot 0,86}{2 \cdot 1,49 + 2 \cdot 0,86} \\ R_{VP} &= 0,273 [\text{m}] \end{aligned} \quad [29] \quad (6.13)$$

Hydraulický poloměr výsypného otvoru  $R_{VY}$  [m]:

$$\begin{aligned} R_{VY} &= \frac{S_{VY}}{o_{VY}} = \frac{a_{VY} \cdot b_{VY}}{2 \cdot a_{VY} + 2 \cdot b_{VY}} \\ R_{VY} &= \frac{1,49 \cdot 0,68}{2 \cdot 1,49 + 2 \cdot 0,86} \\ R_{VY} &= 0,233 [\text{m}] \end{aligned} \quad [29] \quad (6.14)$$

Rychlost průtoku materiálu násypným otvorem  $v_{VP}$  [m.s<sup>-1</sup>]:

$$\begin{aligned} v_{VP} &= \lambda \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot R_{VP} \cdot k_D \cdot k_O}{f_i \cdot k}} \\ v_{VP} &= 0,6 \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \cdot 0,273 \cdot 1 \cdot 1}{1,2 \cdot 0,13}} \\ v_{VP} &= 3,52 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \end{aligned} \quad [2] \quad (6.15)$$

Rychlost průtoku materiálu násypným otvorem  $v_{VY}$  [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]:

$$v_{VY} = \lambda \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot R_{VY} \cdot k_D \cdot k_O}{f_i \cdot k}}$$

$$v_{VY} = 0,6 \sqrt{\frac{2,9,81 \cdot 0,233 \cdot 1,1}{1,2 \cdot 0,13}} \quad [2] \quad (6.16)$$

$$v_{VY} = 3,25 [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$$

Obě rychlosti průtoku materiálu  $v_{VP}$  i  $v_{VY}$  jsou větší než rychlost minimální propustnosti  $v_{MAX}$ . Velikost a tvar násypného a výsypného otvoru jsou vyhovující.


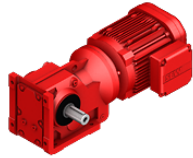
## 6.6 Volba elektromotoru

Volím motor firmy SEW K157/II2GDEDRE225S4/3D/AL o výkonu  $P_D = 30$  [kW]. Motor je v provedení ATEX (zóna 22). Technické údaje motoru jsou na Obr. 6.7. Motor je napojen na kuželočelní převodovku s převodovým poměrem  $i_{ges} = 21,31$  [-] a je připojen k frekvenčnímu měniči.

Označení	Třída účinnosti	P [kW]	na [1/min]	Ma [Nm]	i	fB (A, A+B)	nMot [1/min]
K157/II2GDEDRE225S4/3GD	IE2	30	69	4120	21,31	4,4	1480

Frekvence	50	Hz
Motor do výbušného prostředí	3D (Kategorie 3, prach)	
Hmotnost netto	415	Kg
Výstupní hřídel	110x210	mm
Účinnost (50/75/100% Pn)	91,4 / 92 / 91,6	%
Převodovka do výbušného prostředí	II2GD c.k T4/T120°C	

Obr. 6.7 Parametry zvoleného motoru a výstupních hodnot na převodovce [33]

## 6.7 Kontrola motoru na rozběh

Volbu motoru je nutné zkontrolovat na rozběh, kdy je zařízení rozbíháno z klidové polohy při plné zátěži. Tato situace může nastat a pro bezpečnost strojních součástí je potřeba tuto kontrolu provést.

Moment setrvačnosti motoru a převodovky  $I_M = 0,115$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ] [33], moment setrvačnosti pojistné spojky  $I_S = 119,2$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ], moment setrvačnosti válce drtiče  $I_V = 1181$  [ $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ ], hmotnost válce drtiče  $m_V = 590$  [kg], čas rozběhu  $t_R = 5$  [s], čepové tření v ložiscích  $f_c = 0,075$  [-], čepový konec hřídele v ložiscích  $d_h = 0,11$  [m].

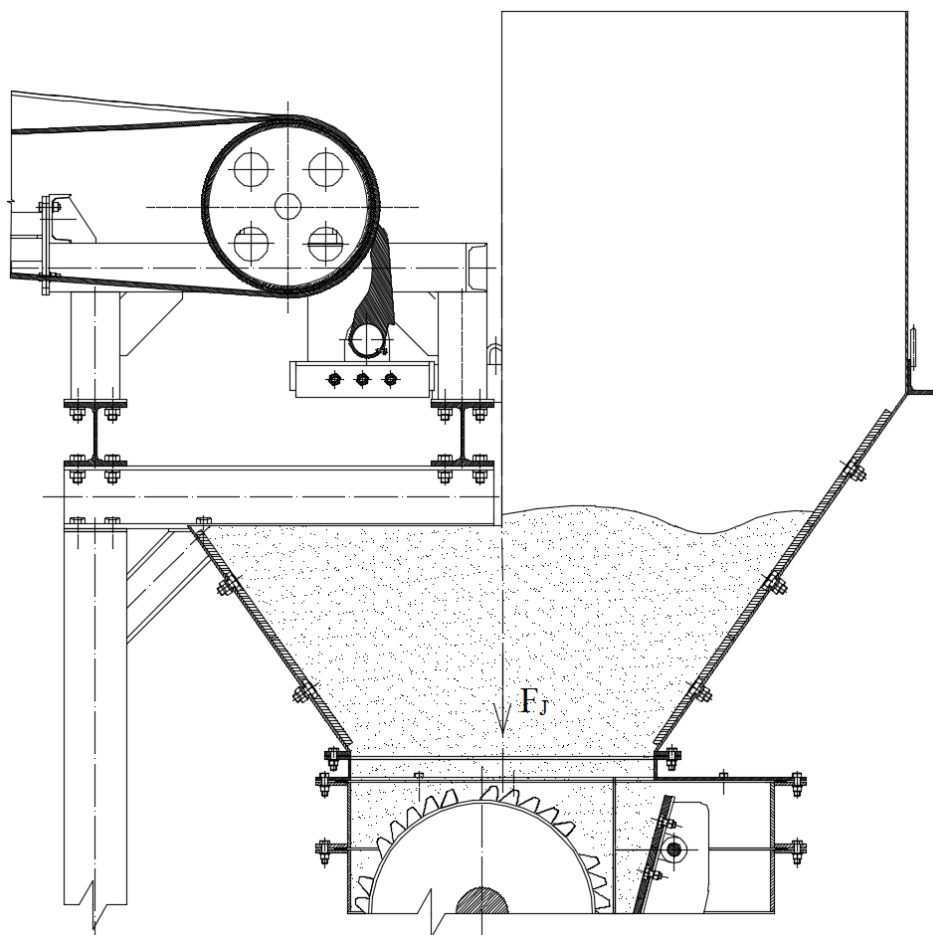
Dynamický moment  $M_D$  [N.m]:

$$M_D = (I_S + I_V + I_M) \cdot 2\pi \cdot \frac{n}{t_R}$$

$$M_D = (119,2 + 1181 + 0,115) \cdot 2\pi \cdot \frac{1,15}{5} \quad (6.17)$$

$$M_D = 1879 [\text{N.m}]$$

Pro výpočet momentu tření v ložiscích  $M_T$  [N.m] je potřeba vypočítat Janssenovu sílu  $F_J$  [N]. Ta působí na vstup zásobníku jak je znázorněno na Obr. 6.8.



Obr. 6.8 Působení Janssenovi síly

$$F_J = \frac{\rho_S \cdot g \cdot R_{VP} \cdot S_{VP}}{f_i \cdot k}$$

$$F_J = \frac{1012,9,81,0,273,1,01}{1,2,0,13} \quad (6.18)$$

$$F_J = 17\,547 [\text{N}]$$



Moment tření v ložiscích  $M_L$  [N.m]:

$$M_L = (F_J + m_V \cdot g) \cdot f_{\xi} \cdot \frac{d_h}{2}$$

$$M_L = (17547 + 590 \cdot 9,81) \cdot 0,075 \cdot \frac{0,11}{2} \quad (6.19)$$

$$M_L = 96[\text{N.m}]$$

Moment trhání materiálu ve výpusti násypného otvoru  $M_T$  [N.m] závisí na Janssenově síle  $F_J = 17\,547$  [N], počátečním smykovém napětí  $\tau_o = 14\,350$  [Pa], součiniteli vnitřního tření černého uhlí  $f_i = 1,2$  [-], průměru válce rozdrůžovače  $D_V = 0,65$  [m], výšce zubu  $h_z = 0,04$  [m], opravném součiniteli  $c = 0,25$  [-]:

$$M_T = (F_J \cdot f_i + \tau_o \cdot S_{VP}) \cdot \left( \frac{D_V}{2} + h_z \right) \cdot c$$

$$M_T = (17547 \cdot 1,2 + 14350 \cdot 1,01) \cdot \left( \frac{0,65}{2} + 0,04 \right) \cdot 0,25 \quad (6.20)$$

$$M_T = 3633[\text{N.m}]$$

Moment potřebný k drcení materiálu je znám z předchozího výpočtu pohonu drtiče  $M_{DR}$  [N.m]:

$$M_{DR} = F_C \cdot \frac{D_V}{2}$$

$$M_{DR} = 34020 \cdot \frac{0,65}{2} \quad (6.21)$$

$$M_{DR} = 11\,057[\text{N.m}]$$

Poměr záběrového a nominálního krouticího momentu na výstupní hřídeli elektromotoru  $f_B = 4,4$  [-]. Celkový moment součtu všech odporů musí být menší nebo roven než záběrový moment elektromotoru:

$$M_L + M_D + M_{DR} + M_T \leq f_B \cdot M_a$$

$$96 + 1879 + 11\,057 + 3633 \leq 4,4 \cdot 4120 \quad (6.22)$$

$$16\,665[\text{N.m}] < 18\,128[\text{N.m}]$$

Zvolený motor vyhovuje na kontrolu na rozběh.



Napětí v krutu  $\tau_K$  je menší než dovolené namáhání v krutu  $\tau_{DK}$ , čímž čepový konec hřídele vyhovuje na namáhání na krut.

## 7.2 Pero na hřídeli rozdružovače

Pero je pro spojení a přenos krouticího momentu výstupní hřídele převodovky a hřídele rozdružovače. Jeho rozměry jsou na Obr. 7.2. Je potřeba udělat návrh délky pera a jeho kontrolu na stříh.

Volím PERO 32e7x18x180 DIN 6885, které je stejné jako u převodovky SEW.

Šířka pera  $b_p = 18$  [mm], výška pera v náboji  $t_1 = 6,9$  [mm], průměr čepového konce hřídele  $d_h = 110$  [mm], dovolený tlak ocel na ocel  $p_{DP} = 120$  [MPa] [9], dovolené smykové napětí pro pero  $\tau_{DSP} = 30$  [MPa] [9].

Výpočet zatěžující síly pera  $F_2$ :

$$F_2 = \frac{M_a}{\frac{d_h}{2} + \frac{t_1}{2}}$$

$$F_2 = \frac{4120}{\frac{110}{2} + \frac{6,9}{2}} \quad [9] \quad (7.3)$$

$$F_2 = 70,5 [\text{kN}]$$

Výpočetní délka pera  $l_p'$ :

$$l_p' = \frac{F_2}{p_{DP} \cdot t_1}$$

$$l_p' = \frac{70500}{120 \cdot 6,9} \quad [9] \quad (7.4)$$

$$l_p' = 85 [\text{mm}]$$

Návrh délky pera  $l_p'$ :

$$l_p = l_p' + b_p$$

$$l_p = 85 + 18 \quad [9] \quad (7.5)$$

$$l_p = 103 [\text{mm}]$$

Volím délku pera dle DIN 6885  $l_p = 180$  [mm].

Je nutné provést kontrolu pera na stříh.

Výpočet střížné síly pera  $F_S$ :

$$F_S = \frac{M_a}{\frac{d_h}{2}}$$

$$F_S = \frac{4120}{\frac{110}{2}} \quad [9] \quad (7.6)$$

$$F_S = 74,91[\text{kN}]$$

Výpočet smykového napětí pera  $\tau_{SP}$ :

$$\tau_{SP} = \frac{F_S}{l_p \cdot b_p}$$

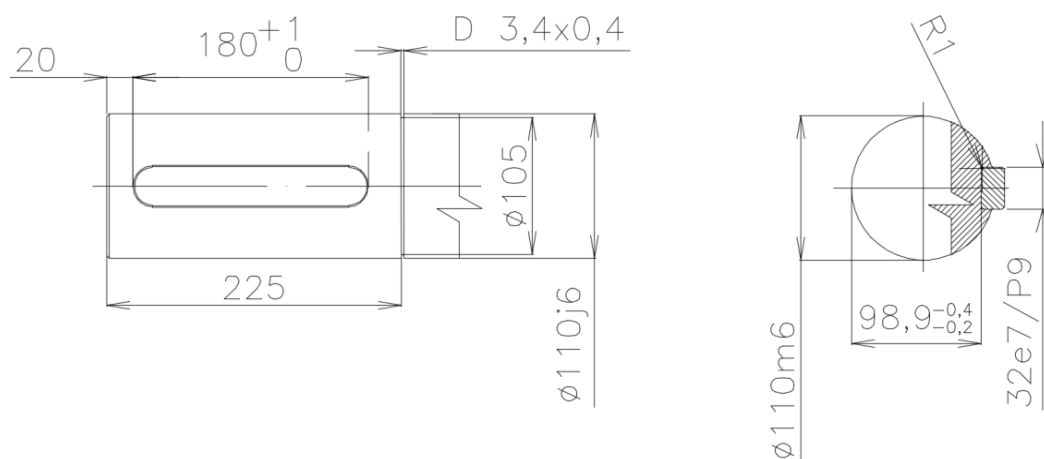
$$\tau_{SP} = \frac{74910}{180 \cdot 18} \quad [9] \quad (7.7)$$

Kontrola dovoleného smykového napětí pera  $\tau_{DSP}$  vůči vypočítanému smykovému napětí pera  $\tau_{SP}$ :

$$\tau_{SP} < \tau_{DSP} \quad [9] \quad (7.8)$$

$$23,1[\text{MPa}] < 30[\text{MPa}]$$

Dovoleného smykové napětí pera  $\tau_{DSP}$  je větší než vypočítané smykové napětí pera  $\tau_{SP}$ , což znamená, že pero vyhovuje na stříh.



Obr. 7.2 Rozměry pera

### 7.3 Spojka mezi převodovkou a rozdružovačem

Návrh a výpočet je proveden pro pojistnou spojku se střížnými lícovanými šrouby. Pojistnou spojku volím z důvodu ochrany strojního zařízení před náhlým přetížením.

V normálním provozu se chovají jako pevné spojky nepružné, ale jen do okamžiku, kdy dojde k neočekávanému a mimořádnému nárůstu přenášeného točivého momentu. Tento impuls způsobí protočení hnací a hnané strany pojistné spojky. V mém případě spojky se střížnými lícovanými šrouby dojde k přestřížení šroubů. Pojistný moment je konstantní, předem vypočítaný.

Krouticí moment  $M_a$  je výstupní jmenovitý moment na převodovce,  $M_a = 4120$  [N.m].

Určení výpočtového momentu je určen součinitelem bezpečnosti pro rozdružovač a asynchronní motor s kotvou nakrátko je v rozmezí 2,9 až 3,6. Volím  $K = 3$  [-].

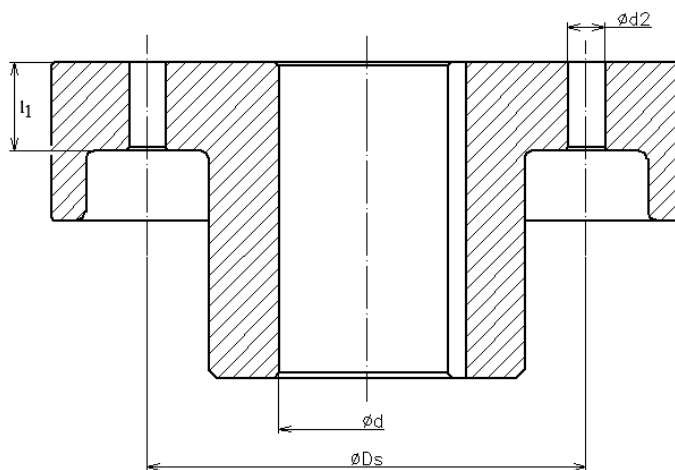
Výpočet výpočtového momentu  $M_V$  [N.m]:

$$M_V = K \cdot M_a$$

$$M_V = 3 \cdot 4120$$

[9] (7.9)

$$M_V = 12\,360 \text{ [N.m]}$$



Obr. 7.3 Náčrtek jedné příruby pojistné spojky

Minimální průměr hřídele volím stejný, jako je průměr hřídele na výstupu převodovky. Válcový konec hřídele  $d_h = 110$  [mm]. Roztečná kružnice šroubů  $D_S$  [m]:

$$D_S = 2 \cdot d_h$$

$$D_S = 2 \cdot 110$$

[9] (7.10)

$$D_S = 220 \text{ [mm]}$$

Síla  $F_R$  [N] na roztečné kružnici šroubů  $D_S$  [m]:

$$F_R = \frac{2 \cdot M_V}{D_S}$$
$$F_R = \frac{2.12360}{220} \quad [9] \quad (7.11)$$
$$F_R = 112,4[\text{kN}]$$

Počet šroubů  $i_k = 4$  [-]. Síla na jeden kolík  $F_i$  [N]:

$$F_i = \frac{F}{i_k}$$
$$F_i = \frac{112400}{4} \quad [9] \quad (7.12)$$
$$F_i = 28\,100[\text{N}]$$

Výpočet skutečného dovoleného napětí šroubu  $\tau_{DS}$  [MPa]. Šroub je z materiálu 12 061, dovolené napětí ve střihu šroubu  $\tau_{DS} = 120$  [MPa]. Návrh průměru dřívku šroubu na střih  $d'$  [mm]:

$$d' = \sqrt{\frac{4F_i}{\pi \cdot \tau_{DS}}}$$
$$d' = \sqrt{\frac{4 \cdot 28100}{\pi \cdot 120}} \quad [9] \quad (7.13)$$
$$d' = 17,27[\text{mm}]$$

Volím šroub o průměru dřívku  $d_k = 17$  [mm], který má lícovaný šroub M16.

Pro určení přesné polohy šroubu na roztečné kružnici  $D_{SSK}$  [mm] je zapotřebí přepočítat skutečnou plochu střihu šroubu  $S_{SK}$  [mm<sup>2</sup>]:

$$S_{SK} = \frac{\pi \cdot d_k^2}{4}$$
$$S_{SK} = \frac{\pi \cdot 17^2}{4} \quad [9] \quad (7.14)$$
$$S_{SK} = 227[\text{mm}^2]$$

Skutečná síla, která je zapotřebí k přestřižení šroubů  $F_{iSK}$  [N]:

$$\begin{aligned}F_{iSK} &= S_{SK} \cdot \tau_{DS} \\F_{iSK} &= 227.120 \\F_{iSK} &= 27240[\text{N}]\end{aligned}\quad [9] \quad (7.15)$$

$$\begin{aligned}D_{SSK} &= \frac{2 \cdot M_V}{F_{iSK} \cdot i_k} \\D_{SSK} &= \frac{2.12360 \cdot 10^3}{27240.4} \\D_{SSK} &= 226,9[\text{mm}]\end{aligned}\quad [9] \quad (7.16)$$

Kontrola kolíku na otlačení vychází z dovoleného namáhání pro ocelové šrouby a ocelovou přírubu  $p_D = 100$  až  $120$  [MPa] (volím  $p_D = 100$  [MPa]). Průměr dřívku šroubu  $d_k = 17$  [mm], délka šroubu pod přírubou  $l_1 = 25$  [mm],  $l_2 = 29$  [mm].

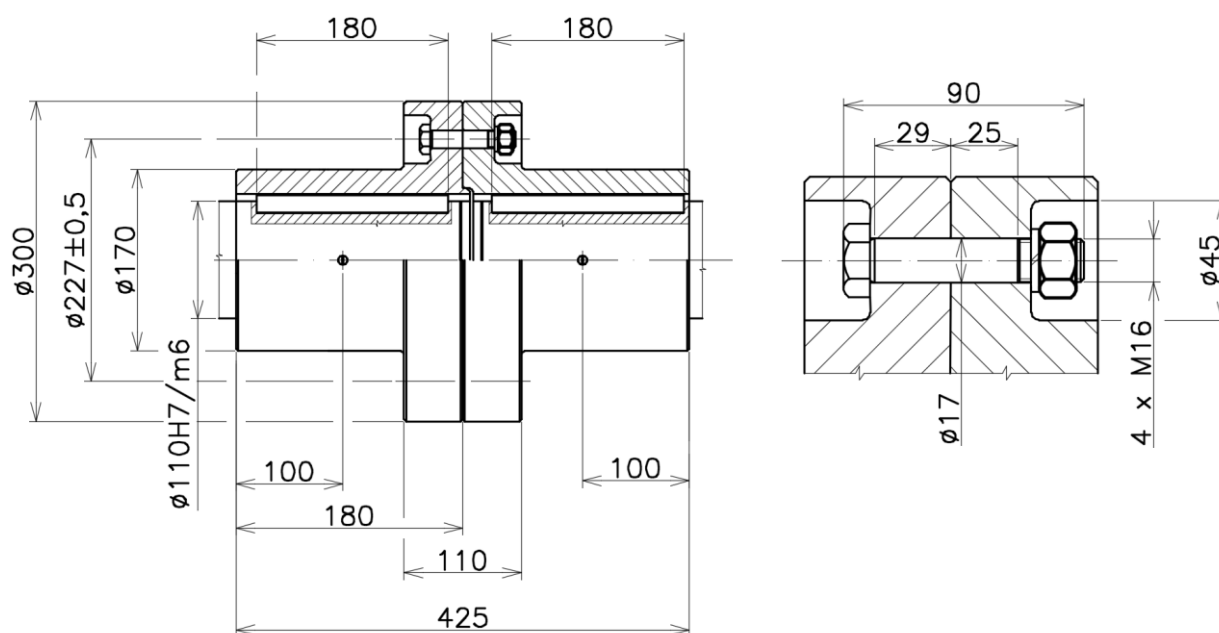
Výpočet tlaku působící na pero  $p_1$  [MPa]:

$$\begin{aligned}p_1 &= \frac{F_{iSK}}{S_k} = \frac{F_{iSK}}{d_k \cdot l_1} \\p_1 &= \frac{27240}{17.25} \\p_1 &= 64,1[\text{MPa}]\end{aligned}\quad [9] \quad (7.17)$$

Kontrola dovoleného tlaku  $p_D$  [MPa] vůči vypočtenému tlaku působící na pero  $p_1$  [MPa]:

$$\begin{aligned}p_1 &\leq p_D \\64,1[\text{MPa}] &< 100[\text{MPa}]\end{aligned}\quad [9] \quad (7.18)$$

Spojení vyhovuje na otlačení. Kontrolu na otlačení není potřeba dělat s délkou  $l_2$ , když vyhovuje stejná délka  $l_1$  na otlačení.



Obr. 7.4 Přírubová pojistná spojka s rozměry

#### 7.4 Výpočet svarového spoje zubů a skruže rozdružovače

Otěruvzdorné plechy HARDOX firmy SSAB Oxelösund obsahují málo legovacích prvků. Tedy i jejich uhlíkový ekvivalent ( $C_e$ ) je malý. Proto lze tyto plechy pomocí standardního obloukového svařování snadno svařovat ke všem obvyklým konstrukčním plechům.

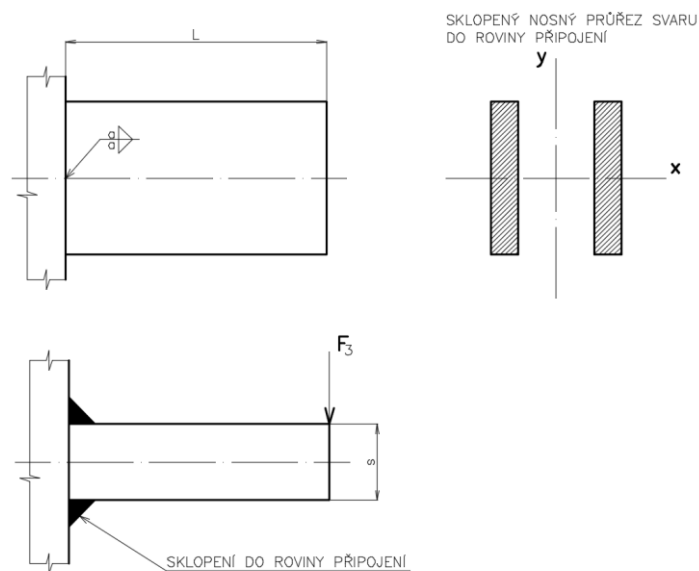
Zuby i skruž rozdružovače jsou z oceli HARDOX 450. Oceli HARDOX jsou otěruvzdorné oceli se železem obsahující 1,4 [%] chromu, až 1,5 [%] niklu nebo do 1,6 [%] manganu při určitém množství molybdenu, křemíku, mědi, titanu, niobu, dusíku a jiných prvků.

Materiál HARDOX 450 má tvrdost dle Brinella HBW 450, pevnost materiálu  $R_{MH} = 1100 - 1300$  [MPa],  $R_{p0,2H} = 1000$  [MPa].

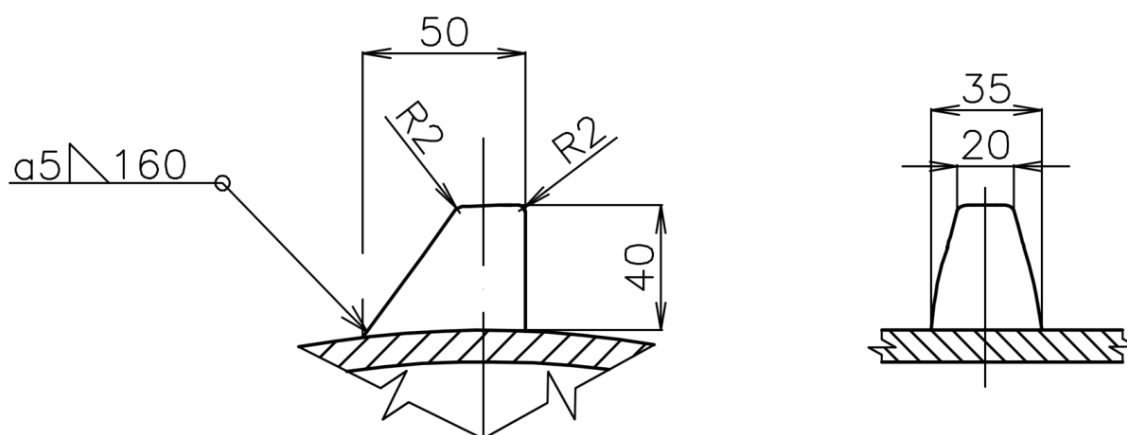
Svařování probíhá metodou MAG (135 – ISO 4063), s přídatným drátem EN ISO 14343-A: W 18 8 Mn, pevností  $R_M = 640$  [MPa],  $R_{p0,2} = 450$  [MPa].

Kontrola pevnosti koutového svaru o délce  $l' = 160$  [mm],  $a = 5$  [mm], tloušťka zubu  $s = 35$  [mm], součinitel bezpečnosti  $k_s = 3$  [-], délka zubu  $L = 40$  [mm]. Drtící síla působící na zub  $F_3 = F_c = 3150$  [N]. Všechny rozměry jsou zobrazeny na Obr. 7.5 a Obr. 7.6.





Obr. 7.5 Náčrtek svaru pro jeho kontrolu



Obr. 7.6 Rozměry zubu

Výpočet tloušťky svaru  $t'$  [mm]:

$$t' = 1,41 \cdot a$$

$$t' = 1,41 \cdot 5$$

$$t' = 7,05 \text{ [mm]}$$

[9] (7.19)

Výpočet délky svaru  $l$  [mm]:

$$l = l' - 2,075 \cdot t'$$

$$l = 160 - 2,075 \cdot 7,05$$

$$l = 149,43 \text{ [mm]}$$

[9] (7.20)

Výpočet kvadratického momentu svaru  $J_y$  [mm<sup>4</sup>]:

$$J_y = \left[ \frac{1}{12} \cdot a^3 \cdot l + a \cdot l \cdot \left( \frac{s+a}{2} \right)^2 \right]$$

$$J_y = \left[ \frac{1}{12} \cdot 5^3 \cdot 149,43 + 5 \cdot 149,43 \cdot \left( \frac{35+5}{2} \right)^2 \right] \quad [9] \quad (7.21)$$

$$J_y = 300417 [\text{mm}^4]$$

Výpočet dovoleného smykové napětí kolmého ke svaru  $\tau_{\perp D}$  [MPa]:

$$\tau_{\perp D} = \frac{R_{p0,2}}{k_s}$$

$$\tau_{\perp D} = \frac{450}{3} \quad [9] \quad (7.22)$$

$$\tau_{\perp D} = 150 [\text{MPa}]$$

Výpočet smykové napětí kolmého ke svaru  $\tau_{\perp}$  [MPa]:

$$\tau_{\perp} = \frac{F_3 \cdot L}{\frac{J_y}{\frac{s}{2} + a}}$$

$$\tau_{\perp} = \frac{3150,40}{\frac{300417}{\frac{35}{2} + 5}} \quad [9] \quad (7.23)$$

$$\tau_{\perp} = 9,44 [\text{MPa}]$$

Kontrola dovoleného smykové napětí kolmého ke svaru  $\tau_{\perp D}$  [MPa] vůči smykovému napětí kolmému ke svaru  $\tau_{\perp}$  [MPa]:

$$\tau_{\perp} \leq \tau_{\perp D}$$

$$9,44 [\text{MPa}] < 150 [\text{MPa}] \quad (7.24)$$

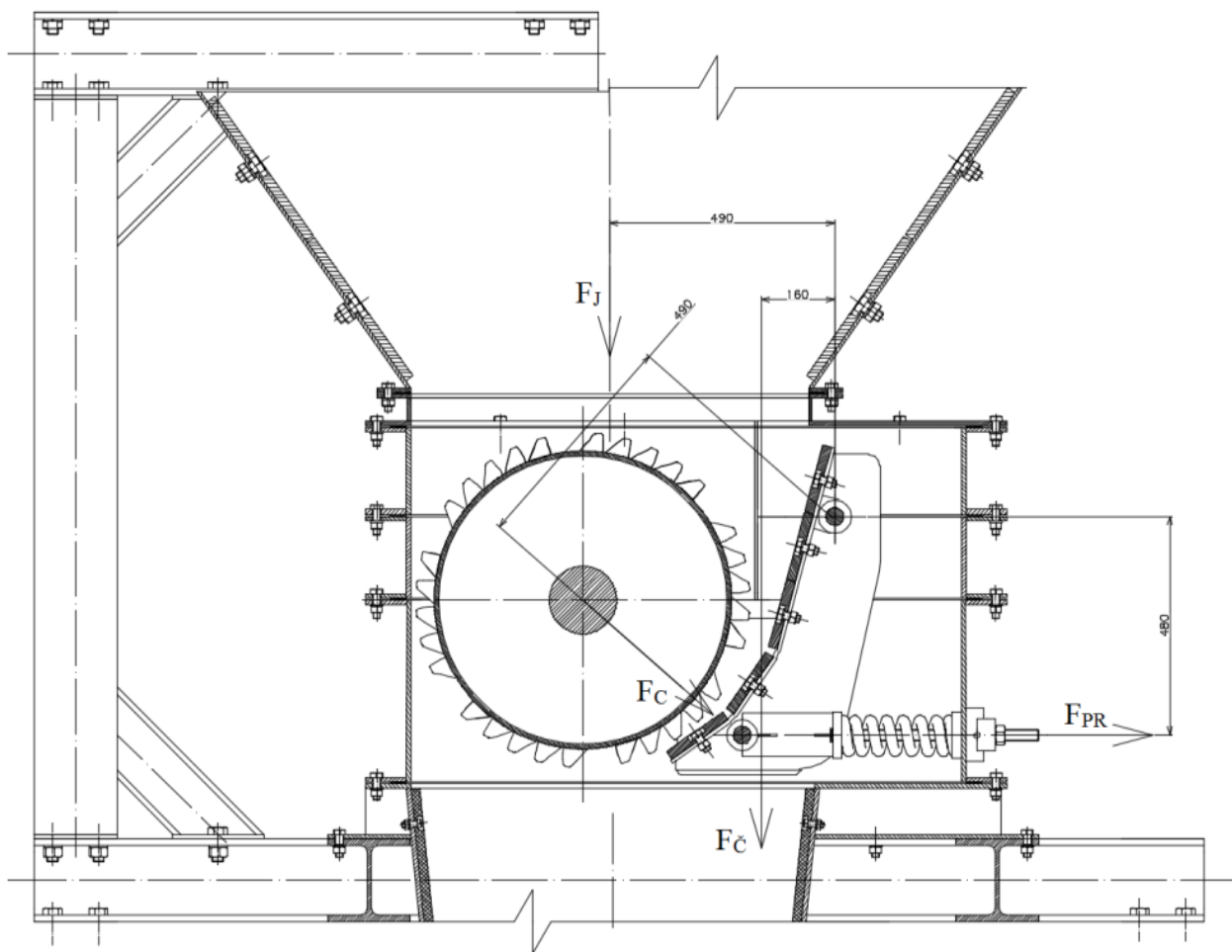
Dovolené smykové napětí kolmé ke svaru  $\tau_{\perp D}$  [MPa] je větší než vypočítané smykové napětí kolmé ke svaru  $\tau_{\perp}$  [MPa], čímž svarový spoj vyhovuje pevnostně.

## 7.5 Výpočet odpružení čelisti rozdružovače

Čelist u jednoválcového drtiče bývá odpružená. Odpružení se provádí mechanické nebo hydraulické, popřípadě obojí. Odpružení je používáno z důvodu náhodných tvrdých částic tvrdších než drcený materiál, například jakési úlomky, nebo šrouby a matice náhodně uvolněné. I když po dopravní cestě černého uhlí bývají magnety pro identifikaci a odstranění železných částic z uhlí, může se stát, že se nějaká dostane až do drtiče. Proto je nutné, aby v takovémto případě byla čelist schopná rozevření a tato částice mohla projít, místo toho, aby zařízení zničila. Pro můj rozdružovač stačí mechanické odpružení z důvodu malých tlaků vznikajících drcením materiálu.

Síly potřebné k určení síly odpružení  $F_{PR}$  [N] jsou Janssenova síla  $F_J = 17\,547$  [N], tíhová složka čelisti  $F_C = 2\,943$  [N] a tlak rozložený do sil působící na čelist  $F_C = 34\,020$  [N].

Výpočet je proveden přes momentovou rovnováhu, kde rameno Janssenovi síly je  $l_J = 0,49$  [m], rameno tíhové síly  $l_C = 0,16$  [m] a rameno drtící síly  $l_C = 0,49$  [m].



Obr. 7.7 Rozložení sil na otočné čelisti

Moment působící na pružinu  $M_{PR}$ :

$$M_{PR} = F_J' \cdot l_J + F_{\check{C}} \cdot l_{\check{C}} + F_C \cdot l_C$$

$$M_{PR} = 17\,547.0,49 + 2943.0,16 + 34020.0,49 \quad [9] \quad (7.25)$$

$$M_{PR} = 25\,740 [\text{N} \cdot \text{m}] = 25,74 [\text{kN} \cdot \text{m}]$$

Síla  $F_{PR}$  působící na ramenu síly odpružení  $l_{PR} = 0,5$  [m]:

$$F_{PR} = \frac{M_{PR}}{l_{PR}}$$

$$F_{PR} = \frac{25740}{0,48} \quad [9] \quad (7.26)$$

$$F_{PR} = 53\,630 [\text{N}]$$

Volím použití dvou pružin za předpokladu rozložení téměř stejných působení sil na každou pružinu je pracovní napětí pružiny  $F_8 = 26,82$  [kN].

Results	
a	13,344 mm
t	34,344 mm
Kw	1,600 ul
k	953,993 N/mm
s1	10,482 mm
s8	31,447 mm
s9	106,750 mm
Lminf	237,300 mm
L9	215,250 mm
F9	101838,759 N
t1	277,168 MPa
t8	831,503 MPa
t9	2822,642 MPa
v	56,717 mps
f	235,371 Hz
W8	471,702 J
l	2116,800 mm
m	5,755 kg

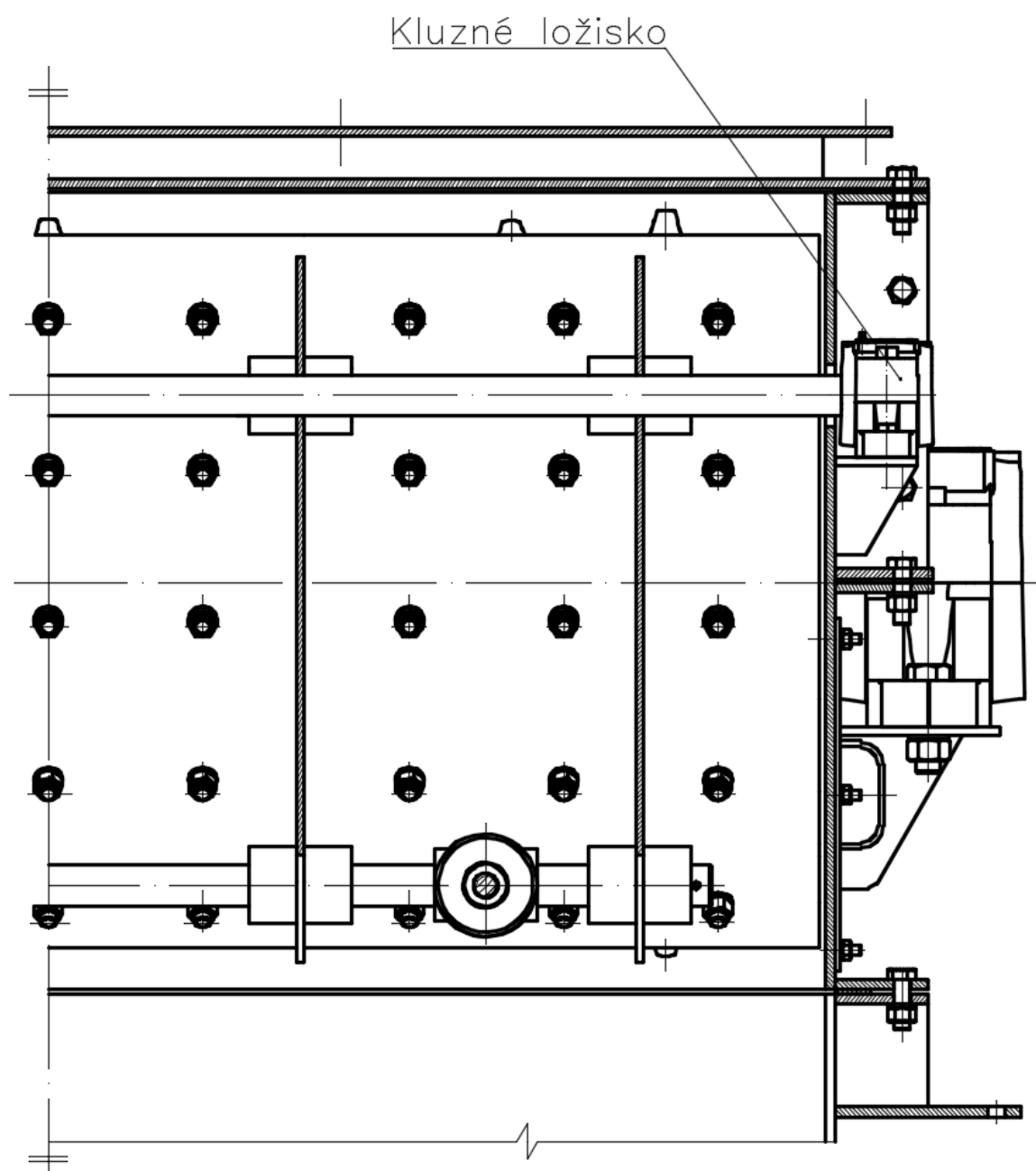
Obr. 7.8 Návrh tlačné pružiny [Inventor 2016]

Volím obě pružiny dle spočítaných vlastností na Obr. 7.8. Tlačné pružiny jsou od firmy HENNLICH číslo 97/22/7 [25]. Jedná se o tlačnou pružinu s průměrem drátu 21 [mm], pracovním zvihem až 49 [mm] a tuhostí pružiny 931 [N/mm].

## 7.6 Kontrola otočného uložení čelisti

Zvolil jsem dvě kluzná ložiska. Jde o kluzná ložiska GEH 40 TXG3E-2LS firmy SKF, které zachycují tíhu čelisti drtiče a umožňují jí otočné uložení.

Výpočet není nutné provádět z důvodu využitelnosti tohoto ložiska. Nastavení čelisti do určité polohy se provádí za účelem získání maximální požadované velikosti výstupního zrna. To znamená, že se čelist nebude otáčet často, pouze při kontrolách, opravách nebo popřípadě při změně velikosti výstupního zrna.



Obr. 7.9 Uložení otočné čelisti do kluzného ložiska

## 7.7 Kontrola ložisek pod válcem rodružovače

Zvolil jsem dvě soudečková ložiska SKF 23224 (Obr. 7.10). Ty jsou vzhledem k působícím silám nejvhodnější.

Výpočet zatěžující radiální síly  $F_r$  [kN]:

$$\begin{aligned}F_r &= m_v \cdot g + F_j \\F_r &= 590,9,81 + 17547 \\F_r &= 23\,335[\text{N}] = 23,34[\text{kN}]\end{aligned}\quad [9] \quad (7.27)$$

Zatěžující radiální síla  $F_r = 23,34$  [kN] a zatěžující axiální síla  $F_a = 0$  [kN]. Soudečkové dvouřadá ložiska mají součinitel radiálního zatížení  $X = 1$  [-] a součinitel axiálního zatížení  $Y = 0,45$  [-].

Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska  $P$  [kN]:

$$\begin{aligned}P &= X \cdot F_r + Y \cdot F_a \\P &= 1 \cdot 23,34 + 0,45 \cdot 0 \\P &= 23,34[\text{kN}]\end{aligned}\quad [9] \quad (7.28)$$

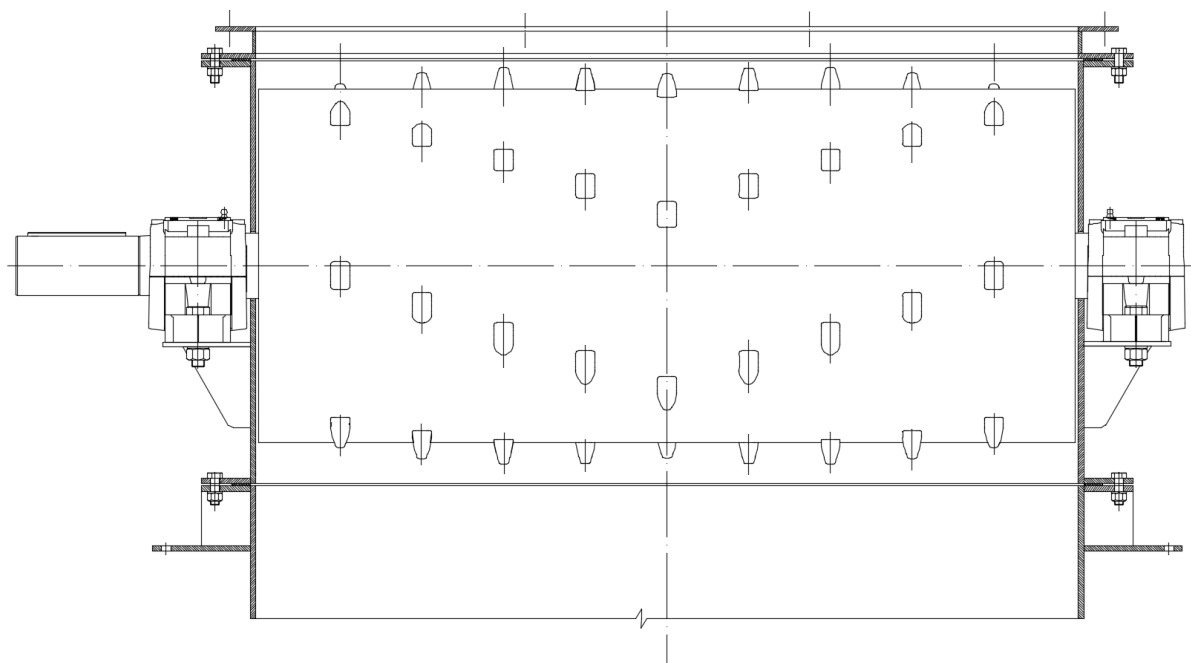
Základní dynamická trvanlivost soudečkového ložiska SKF 23224  $C = 734$  [kN], mocnitel druhu styku valivých tělísek  $p = 3,33$  [-] (valivá ložiska s čárovým stykem).

Základní trvanlivost ložiska v hodinách  $L_{10h}$  [h]:

$$\begin{aligned}L_{10h} &= \left(\frac{C}{P}\right)^p \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n_v} \\L_{10h} &= \left(\frac{734}{23,34}\right)^{3,33} \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 69} \\L_{10h} &= 23\,441\,840[\text{h}]\end{aligned}\quad [9] \quad (7.29)$$

Zvolené ložiska vyhovují na základní trvanlivost ložisek  $L_{10h}$  [h].

Ke kontrole výpočtu jsem použil katalogové listy SKF a jejich návrhový konfigurator. Minimální základní trvanlivost ložiska pro rotační drtící zařízení je  $L_{10h} = 40\,000 - 60\,000$  [h], čemuž zvolené ložisko vyhovuje (Obr. 7.11).



Obr. 7.10 Uložení válce rozdužovače

Bearing life : 23224 CCK/W33 + H 2324

Input parameters

<b><math>F_r</math></b> Radial load	23.34 kN
<b><math>F_a</math></b> Axial load	0 kN
<b><math>n_i</math></b> Rotational speed of the inner ring	69 r/min
<b>Operating temperature</b> Bearing outer ring	40 °C
<b><math>\eta_c</math> specification method</b>	Cleanliness classification(recommended)
<b>Lubricant type and cleanliness</b>	ISO 4406 cleanliness code -/21/18
<b>Viscosity calculation input type</b>	Viscosity input at 40 °C (VI is 95)
<b>Viscosity at 40 °C</b>	120 mm <sup>2</sup> /s

Result

<b><math>L_{10mh}</math></b> SKF rating life	>1000000 hour
<b><math>a_{SKF}</math></b> SKF life modification factor $a_{SKF}$	0.42
<b><math>\kappa</math></b> Viscosity ratio	1.32
<b>P</b> Equivalent dynamic bearing load	23.3 kN
<b><math>\eta_c</math></b> Factor for contamination level	0.02
<b><math>v_1</math></b> Required kinematic viscosity for $\kappa=1$	90.7 mm <sup>2</sup> /s
<b><math>L_{10h}</math></b> Basic rating life	>1000000 hour
<b>C/P</b> Load ratio	31.4

Bearing data

**Designation** 23224 CCK/W33 + H 2324  
**d** 110 mm  
**D** 215 mm  
**Type** Spherical roller bearing with adapter sleeve

Obr. 7.11 Kontrola ložisek [34]

## 8 Konstrukční řešení

### 8.1 Technologický popis

Navrhnul jsem zařízení, které bude využíváno k rozdružování materiálu po dopravní cestě. Rozdružovač byl navržen za předpokladu, že materiálem po dopravní cestě bude černé uhlí, jehož mechanicko-fyzikální vlastnosti jsem stanovil měřením v LSH VŠB-TU Ostrava. Rozdružovač je možné využít i k rozvolňování jiných sypkých materiálů s podobnými mechanicko-fyzikálními vlastnostmi a velikostí zrna. Změnou víka lze upravit vstupní otvor rozdružovače. Změnou otáček je dále možno upravit dopravované množství rozdružovače.

Rozdružovač se skládá z částí umístěných uvnitř a mimo něj, resp. uvnitř nebo vně skříně rozdružovače. Skříň rozdružovače je dělená a každá část se dá přírubově spojit s další. Mezi přírubami je těsnění, které může být buď tmelové, nebo samolepící těsnění.

Uvnitř skříně rozdružovače je hřídel s navařeným skruženým válcem z Hardoxu, který je vystužen kotouči. Na obvodě válce jsou navařeny zuby z Hardoxu. Celá hřídel i s válcem a zuby je posazená ve dvou soudečkových náklonných ložiscích, které jsou usazeny v dělených ložiskových domcích.

Dále se uvnitř rozdružovače nachází čelist, která je z ohýbaného plechu a vystužena kolmo navařenými plechy. Ze strany, která je v přímém kontaktu s rozvolňovaným materiálem je celá čelist s výstelkou z Hardoxu, čímž je sníženo opotřebení čelisti na minimum. Celá čelist je ze shora uložena otočně ve dvou kluzných ložiscích, které jsou usazeny v ložiskových domcích. Zespoda je čelist uložena pružně, a to mechanicky pomocí dvou pružin. Obě pružiny jsou tlačné a je možné nastavit jejich pracovní délku i zatížení. Stlačení pružiny a přiblížení čelisti k válci rozdružovače je rozhodující pro nastavení velikosti maximálního výstupního zrna.

Vnější část rozdružovače se skládá z víka, které uzavírá rozdružovač ze shora, ale ponechává vstupní otvor pro materiál vstupující do rozdružovače. Zároveň má přírubu s přípojnými rozměry pro násypku.

Druhou vnější částí rozdružovače je výsypka rozdružovače, která je přišroubovaná na spodní přírubu. Výsypka má vystlány dvě vnitřní strany Hardoxem, za účelem snížení opotřebení. Opatření je zvoleno vzhledem k vystřelujícímu materiálu, který bude narážet na jednu z těchto pod úhlem sklopených stran výsypky a dále se bude odrážet do druhé.

Dalšími vnějšími částmi rozdružovače jsou ložiskové domky, které jsou přišroubovány k bočním částím skříně. Ložiskové domky jsou celkově čtyři. Jak již bylo uvedeno, dva



jsou pro uložení hřídele s válcem a dva pro otočně uloženou čelist. Všechny ložiskové domky jsou usazena ve skříni rozdrůžovače. První dvojice má jeden ložiskový domek s víkem a jeden průchozí. Skrz průchozí ložiskový domek prochází čepový konec hřídele s perem. V druhé dvojici ložiskových domků jsou oba s víkem.

Rozdrůžovač je poháněn asynchronním převodovým elektromotorem s kotvou na krátko, který je v nevybušném provedení. Výstupní hřídel převodovky je spojena s výstupní hřídelí rozdrůžovače pomocí pojistné spojky s lícovanými šrouby. Přenos krouticího momentu je zajištěn pery.

K rozvolňování materiálu dochází pomocí rotace válce se zuby, které svojí kinetickou energií tříští zmrazky uhlí. Dále k rozpojování materiálu dochází i pomocí narážení materiálu vrhaného naproti čelisti, nebo nárazem na válec drtiče. Výstupní zrno musí projít rozdrůžovačem, který nastavením vzdálenosti čelisti od válce určuje maximální velikost výstupního zrna. Rozmezí výstupního zrna je možno nastavit od 50 do 125 [mm].

## Závěr

Navrhl jsem zařízení pro rozvolňování černého uhlí po dopravní cestě. Ve své diplomové práci jsem zvolil jednoválcový rozdružovač.

Rozdružovač je umístěn v přesypu materiálu mezi dvěma pásovými dopravníky. Rozdružovač je plněn násypným otvorem, na který je připojena násypka pro usměrňování materiálu.

Mechanicko-fyzikální vlastnosti rozvolňovaného materiálu – černého uhlí jsou: sypná hmotnost  $\rho_s = 1012 \text{ [kg.m}^{-3}\text{]}$ , úhel vnitřního tření  $\varphi_i = 50 \text{ [}^\circ\text{]}$ , počáteční smyková soudržnost  $\tau_o = 14350 \text{ [Pa]}$ , úhel vnějšího tření (černé uhlí – Hardox)  $\varphi_w = 15,5 \text{ [}^\circ\text{]}$ .

Válec rozdružovače má vnější průměr  $D_v = 0,65 \text{ [m]}$ , na kterém jsou navařené Hardox zuby o výšce  $h_z = 0,04 \text{ [m]}$ . Maximální velikost výstupního zrna  $u \text{ [m]}$  může být v rozmezí  $u = 50 \div 125 \text{ [mm]}$ . Nejmenší dopravované množství je  $Q_v = 84 \text{ [t.h}^{-1}\text{]}$ , ale může být i vyšší pro větší velikosti výstupních zrn  $u \text{ [m]}$ .

Pohon rozdružovače je asynchronní elektromotor firmy SEW Eurodrive K157/II2GDEDRE225S4/3D/AL v nevýbušném provedení ATEX o výkonu  $P_D = 30 \text{ [kW]}$  s kuželočelní převodovkou o převodovém poměru  $i_{ges} = 21,31 \text{ [-]}$

Přenos krouticího momentu z hnací hřídele na hnanou je pomocí pojistné střížné spojky s lícovanými šrouby. Přenos krouticího momentu je pomocí per 32e7x18x180 DIN 6885.

Výkresová dokumentace k mé diplomové práci a návrhu rozdružovače je uvedena v příloze.

## Použitá literatura a zdroje

### Požítá literatura

- [1] Jasaň, V.: *Teória dopravných a manipulačných zariadení*. Bratislava: TU Košice, Alfa Bratislava, 1989. 374s.
- [2] Pešat, Z.: *Manipulace s materiálem v hutích*. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1992. 165s.
- [3] Polák, J., Pavliska, J., Slíva, A.: *Dopravní a manipulační zařízení I*. Ostrava: ES VŠB-TUO, 2001. 99s.
- [4] Polák, J., et al.: *Dopravní a manipulační zařízení II*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2003. 104s.
- [5] Slíva, A., et al.: *Dopravní a manipulační zařízení III*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2005. 133s.
- [6] Gondek, H., Ševčík, A.: *Těžební a zpracovatelské stroje III*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2008. 124s.
- [7] Slíva, A.: *Základy zařízení úpraven*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2011. 91s.
- [8] Dražan, F., Jeřábek, K.: *Manipulace s materiálem*. Praha: SNTL Praha, 1978. 454s.
- [9] Kaláb, K.: *ČÁSTI A MECHANISMY STROJŮ: Části spojovací*. VŠB-TU Ostrava, 2014. 115s.
- [10] Vávra, P., kolektiv: *Strojírenské tabulky*. Praha: SNTL Praha, 2008. 914s.
- [11] *Laboratoř sypkých hmot VŠB-TU Ostrava*

### Internetové odkazy

- [12] Zhingyu heavy industry. [online]. [cit. 2017-12-4]. Dostupné z: [www.dl-crusher.com /index.html](http://www.dl-crusher.com/index.html)
- [13] [online]. [cit. 2017-15-3]. Dostupné z: <https://www.civilengineeringhandbook.tk/stirling-engine.html>
- [14] Shri Balaji Industrial products LTD. [online]. [cit. 2017-11-3]. Dostupné z: <http://balaji-castings.com/category/customer-segment/cement-plants/material-handling-department-cement-plants/crushers/>
- [15] 911 Metallurgist. [online]. [cit. 2017-6-3]. Dostupné z: <https://www.911metallurgist.com/blog/>

- [16] Lipták, B. G.: Proces control and optimization. CRC Press, 2006. [online]. [cit. 2017-4-2]. Dostupné z: <https://www.crcpress.com/>
- [17] SlideShare Linkedin. [online]. [cit. 2016-26-12]. Dostupné z: <https://www.slideshare.net/>
- [18] Zhengzhou ZY Machinery CO.,LTD.. [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://zzywzg.com/en/>
- [19] Hammer Mill. [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: [http://nett21.gec.jp/JSIM\\_DATA/WASTE/WASTE\\_2/html/Doc\\_363\\_1.html](http://nett21.gec.jp/JSIM_DATA/WASTE/WASTE_2/html/Doc_363_1.html)
- [20] Tomášová Lea, s.r.o. Průmyslová zařízení. [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://www.tomasovalea.cz/>
- [21] TriPerl Equipment [online]. [cit. 2017-26-4]. Dostupné z: <http://www.triperl.com/>
- [22] [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: [www.hornictvi.info](http://www.hornictvi.info)
- [23] Freezing of coal. Manju Agrawal. 117s. [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://preserve.lehigh.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=3312&context=etd>
- [24] Experimental Study of the Fracture Toughness of Frozen Coal. [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://bcdt.westgis.ac.cn/EN/abstract/abstract1363.shtml>
- [25] Katalog firmy HENNLICH. [online]. [cit. 2017-3-28]. Dostupné z: <https://www.hennlich.cz/produkty/pruziny-tlacne-pruziny-162.html>
- [26] [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/>
- [27] [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://www.okweld.cz/>
- [28] [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://www.euro-inox.org/>
- [29] [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/>
- [30] [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://fast10.vsb.cz/>
- [31] [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://projekt150.ha-vel.cz/>
- [32] Katalog firmy ZKL. [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://www.zkl.cz/cs>
- [33] Katalog firmy SEW eurodrive [online]. [cit. 2017-4-17]. Dostupné z: <https://www.sew-eurodrive.cz/>
- [34] [online]. [cit. 2017-24-4]. Dostupné z: <http://www.skf.com>

## **Výkresová dokumentace**

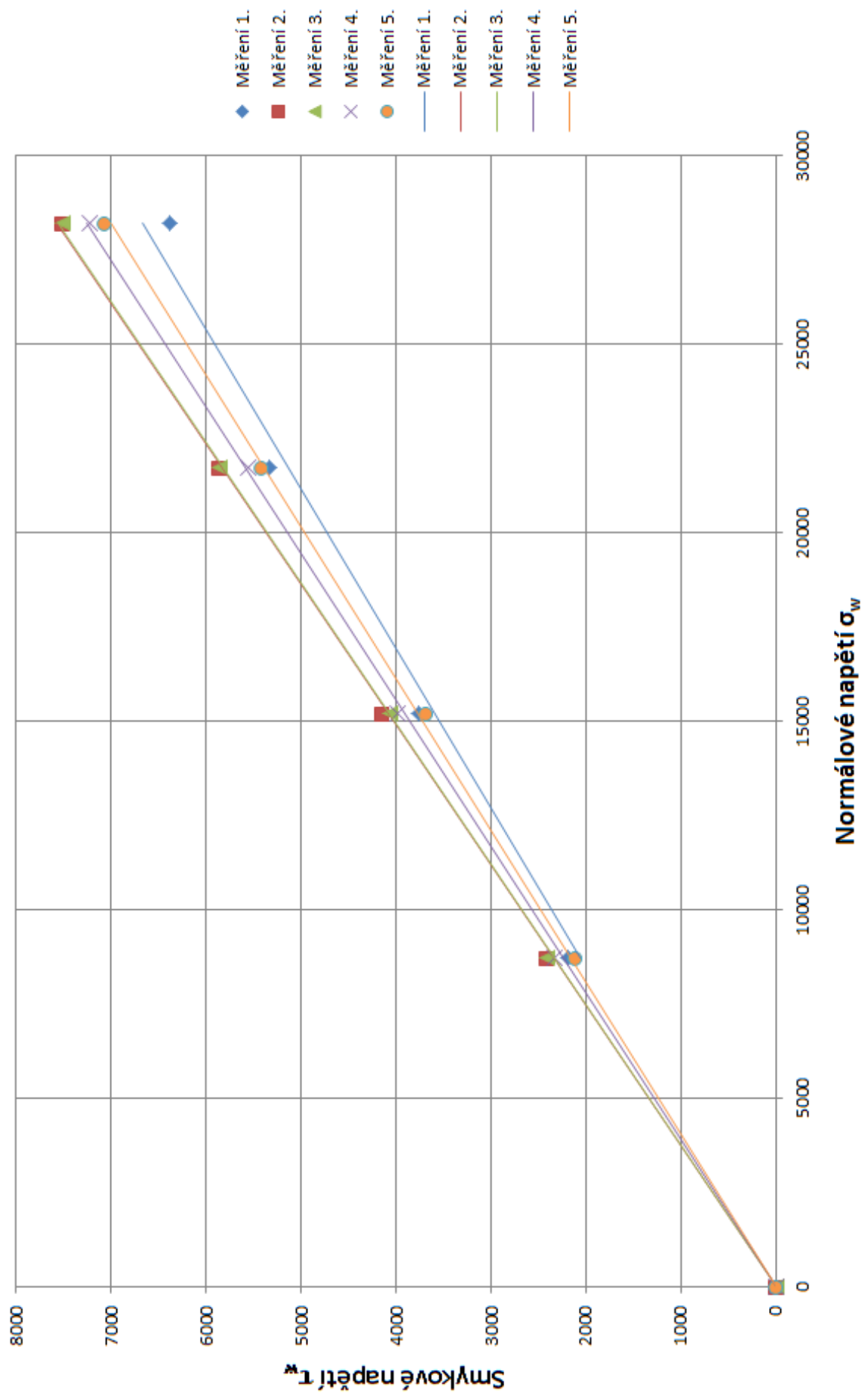
Ustavení rozdružovače	DIV0024-S1
Rozdružovač	DIV0024-S1-01
Pojistná spojka	DIV0024-S1-02
Válec rozdružovače	DIV0024-S1-03

## Seznam příloh

PŘÍLOHA A	Úhel vnějšího tření černého uhlí - HARDOX
PŘÍLOHA B	Úhel vnitřního tření černého uhlí LSH VŠB-TU Ostrava
PŘÍLOHA C	Hodnoty deformačního tlakového napětí zmrzlého uhlí v [MPa] [23]
PŘÍLOHA D	Výsledky výpočtů křivek přepadávání materiálu přes koncový buben PD pro různé rychlosti

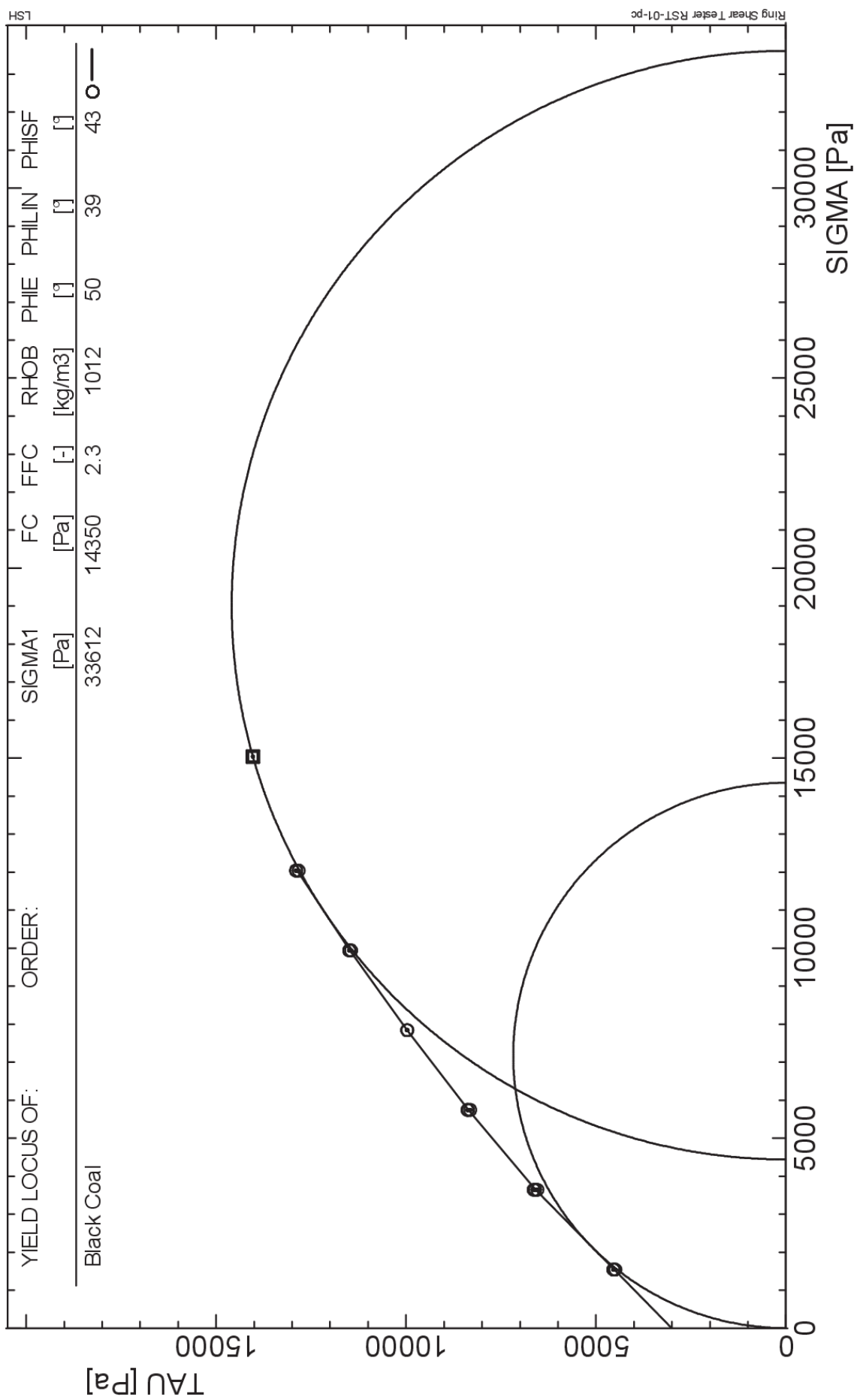
# PŘÍLOHA A

## Vnější tření černé uhlí - HARDOX



# PŘÍLOHA B





# PŘÍLOHA C

Hodnoty deformačního tlakového napětí zmrzlého uhlí v [MPa] [5]:

Vzorek č. 1

Voda [%]	Měření 1. [MPa]	Měření 2. [MPa]	Měření 3. [MPa]	Měření 4. [MPa]	Měření 5. [MPa]	Měření 6. [MPa]	Průměr [MPa]
10	0,24	0,22	0,24	0,22	0,24	0,24	0,23
12	0,44	0,37	0,55	0,46	0,37	0,42	0,44
14	0,44	0,52	0,59	0,61	0,70	0,68	0,59
16	0,92	0,86	1,08	0,66	0,83	0,91	0,88
18	1,43	1,65	1,36	1,47	1,14	1,25	1,38
20	2,89	1,76	1,82	2,57	3,12	2,42	2,43

Vzorek č. 2

Voda [%]	Měření 1. [MPa]	Měření 2. [MPa]	Měření 3. [MPa]	Měření 4. [MPa]	Měření 5. [MPa]	Měření 6. [MPa]	Průměr [MPa]
10	0,37	0,35	0,35	0,41	0,31	0,37	0,36
12	0,61	0,59	0,66	0,66	0,70	0,55	0,63
14	0,76	0,70	0,72	0,70	0,72	0,55	0,69
16	1,12	0,90	1,28	1,08	0,94	1,23	1,09
18	1,78	1,73	1,48	1,56	1,63	1,71	1,65
20	2,43	2,72	3,27	2,37	2,06	2,74	2,60

Vzorek č. 3

Voda [%]	Měření 1. [MPa]	Měření 2. [MPa]	Měření 3. [MPa]	Měření 4. [MPa]	Měření 5. [MPa]	Měření 6. [MPa]	Průměr [MPa]
10	0,52	0,63	0,78	0,52	0,57	0,57	0,60
12	0,77	0,72	0,79	0,72	0,74	0,76	0,75
14	0,92	1,12	0,79	0,86	1,28	1,02	1,00
16	1,39	1,34	1,17	1,49	1,39	1,51	1,38
18	2,48	2,36	2,89	1,88	2,36	2,61	2,43
20	3,85	3,67	4,21	3,76	2,94	2,97	3,57

Vzorek č. 4

Voda [%]	Měření 1. [MPa]	Měření 2. [MPa]	Měření 3. [MPa]	Měření 4. [MPa]	Měření 5. [MPa]	Měření 6. [MPa]	Průměr [MPa]
10	0,60	0,65	0,80	0,72	0,64	0,68	0,68
12	0,84	0,73	0,92	0,88	0,79	0,82	0,83
14	1,23	1,15	0,95	1,31	1,16	1,19	1,17
16	1,52	1,34	1,48	1,49	1,39	1,51	1,46
18	2,43	2,72	3,27	2,37	2,06	2,74	2,60
20	3,21	3,15	2,85	3,36	3,45	3,12	3,19

# PŘÍLOHA D

Hodnoty výsledků křivek přepadu materiálu přes pásový dopravník pro různé rychlosti:

Rychlost  $v = 1,25 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$

čas $t$ [s]	x [m]	y [m]
0	0,00	0,00
0,075	0,08	0,07
0,15	0,17	0,19
0,225	0,25	0,37
0,3	0,34	0,60
0,375	0,42	0,89
0,45	0,51	1,24
0,525	0,59	1,64
0,6	0,68	2,09
0,675	0,76	2,60
0,75	0,84	3,17

Rychlost  $v = 1,6 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$

čas $t$ [s]	x [m]	y [m]
0	0,00	0,00
0,075	0,12	0,04
0,15	0,24	0,14
0,225	0,36	0,30
0,3	0,48	0,51
0,375	0,59	0,77
0,45	0,71	1,09
0,525	0,83	1,47
0,6	0,95	1,90
0,675	1,07	2,38
0,75	1,19	2,92

Rychlost  $v = 2 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$

čas $t$ [s]	x [m]	y [m]
0	0,00	0,00
0,075	0,15	0,03
0,15	0,30	0,11
0,225	0,45	0,25
0,3	0,60	0,44
0,375	0,75	0,69
0,45	0,90	0,99
0,525	1,05	1,35
0,6	1,20	1,77
0,675	1,35	2,23
0,75	1,50	2,76

Rychlost  $v = 2,5 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$

čas t [s]	x [m]	y [m]
0	0,00	0,00
0,075	0,19	0,03
0,15	0,38	0,11
0,225	0,56	0,25
0,3	0,75	0,44
0,375	0,94	0,69
0,45	1,13	0,99
0,525	1,31	1,35
0,6	1,50	1,77
0,675	1,69	2,23
0,75	1,88	2,76

Rychlost  $v = 3,15 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$

čas t [s]	x [m]	y [m]
0	0,00	0,00
0,075	0,24	0,03
0,15	0,47	0,11
0,225	0,71	0,25
0,3	0,95	0,44
0,375	1,18	0,69
0,45	1,42	0,99
0,525	1,65	1,35
0,6	1,89	1,77
0,675	2,13	2,23
0,75	2,36	2,76

Rychlost  $v = 4 \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$

čas t [s]	x [m]	y [m]
0	0,00	0,00
0,075	0,30	0,03
0,15	0,60	0,11
0,225	0,90	0,25
0,3	1,20	0,44
0,375	1,50	0,69
0,45	1,80	0,99
0,525	2,10	1,35
0,6	2,40	1,77
0,675	2,70	2,23
0,75	3,00	2,76